

Institutul Politehnic București

FACULTATEA DE METALURGIE

CATEDRA TURNĂTORIE - AGREGATE

Voicu BRABIE,

Pavel TOBOC,

Constantin BRATU,

Gigel NEAGU

TEHNOLOGIA ELABORARII  
ȘI  
TURNARII OȚELULUI  
Lucrări practice

pentru uzul studenților

— 1 9 8 5 —



**INSTITUTUL POLITEHNIC BUCURESTI**  
**FACULTATEA DE METALURGIE**  
**CATEDRA TURNATORIE - AGREGATE**

**S.l.dr.ing.Voicu BRABIE, S.l.dr.ing.Constantin BRATU,**  
**S.l.ing.Pavel TOBOC, Asist.ing.Gigel NEAGU**

**TEHNOLOGIA ELABORARII SI TURNARII OTELULUI**  
**LUCRARI PRACTICE**





## C U P R I N S

CAP.1. - APLICATII LA LEGILE TERMODINAMICE SI TERMOCHIMICE CU APLICABILITATE IN PROCESELE DE ELABORARE A OTELURI- LOR . . . . .	4
CAP.2. - APLICATII IN CAZUL TEHNOLOGIEI DE ELABORARE A OTELURILOR IN CUPTOARE ELECTRICE CU ARC . . . . .	26
CAP.3. - PROCESE FIZICO-CHIMICE CARE INSOTESC SOLIDI- FICAREA OTELURILOR . . . . .	32
CAP.4. - SISTEME DE ALIMENTARE A PIESELOR TURNATE DIN OTEL . . . . .	70
4.1. Legi hidrodinamice care guvernează curgerea oțelului lichid . . . . .	70
4.1.1. Legea continuității . . . . .	70
4.1.2. Legea conservării energiei . . . . .	70
4.1.3. Determinarea timpului de turnare a oțelului dintr-o oală cu dop . . . . .	75
4.2. Dimensionarea rețelelor de turnare . . . . .	84
4.2.1. Dimensionarea rețelelor de turnare convergente . . . . .	84
4.2.2. Dimensionarea rețelelor de turnare divergente . . . . .	97
4.2.3. Metode pentru determinarea timpului total de turnare . . . . .	105
4.3. Mijloace de prevenire a retasurilor . . . . .	112
4.3.1. Dimensionarea maselotelor . . . . .	112
4.3.2. Răcitori pentru piesele turnate din oțel . . . . .	131
CAP.5. - LUCRARI DE LABORATOR . . . . .	136
5.1. Dimensionarea cuptorului electric cu arc . . . . .	137
5.2. Tehnologia elaborării oțelurilor în cup- toare electrice cu inducție . . . . .	143
5.3. Posibilități de modificare a incluziunilor nemetalice în oțelurile turnate în piese . . . . .	153
5.4. Desulfurarea oțelului turnat în piese, în afara agregatului de elaborare . . . . .	160



5.5.	Influența condițiilor de turnare asupra reoxidării oțelului . . . . .	164
5.6.	Influența conținutului de carbon și a temperaturii de turnare asupra fluidității oțelurilor turnate în piese . . . . .	170
5.7.	Influența conținutului de carbon și a temperaturii de turnare asupra retasurii oțelurilor turnate în piese . . . . .	175
5.8.	Influența conținutului de carbon asupra contracției în stare solidă a oțelurilor . . . . .	179
5.9.	Determinarea tensiunilor de turnare în piesele turnate din oțel . . . . .	183
5.10.	Determinarea tendinței de formare a crăpăturilor la cald . . . . .	189
5.11.	Influența agitării magnetice asupra procesului de solidificare la piesele turnate din oțel . . . . .	192
5.12.	Influența conținutului de carbon asupra proprietăților mecanice ale oțelurilor carbon turnate în piese . . . . .	202
5.13.	Influența gradului de ecruisare asupra proprietăților mecanice ale oțelului manganos . . . . .	205
5.14.	Metode pentru identificarea rapidă a oțelurilor . . . . .	208
CAP.6.	- INSTRUCTIUNI TEHNOLOGICE DE ELABORARE . . . . .	211
6.1.	Elaborarea oțelului carbon turnat în piese în cuptor electric cu arc bazic . . . . .	211
6.2.	Elaborarea în cuptor acid a oțelului carbon turnat în piese . . . . .	221
CAP.7.	- ANEXE . . . . .	226
	Compoziția chimică a oțelurilor carbon turnate în piese . . . . .	227
	Caracteristicile mecanice ale oțelurilor carbon turnate în piese . . . . .	228
	Compoziția chimică a oțelurilor slab aliate . . . . .	229
	Compoziția chimică și caracteristicile mecanice ale oțelurilor austenitice manganoase . . . . .	230
	Oțeluri inoxidabile turnate în piese . . . . .	231



Caracteristici mecanice și tehnologice ale oțelurilor inoxidabile . . . . .	232
Caracteristici fizice ale unor oțeluri înalt aliate . . . . .	233
Influența elementelor de aliere asupra proprietăților oțelului . . . . .	234
Temperaturile de turnare ale oțelurilor în forme . . . . .	234
Tratamentul termic al pieselor turnate din oțel carbon . . . . .	235
Materiale utilizate în procesul de elaborare a oțelurilor . . . . .	236
Caracteristicile unor cuptoare cu arc . . . . .	245
BIBLIOGRAFIE . . . . .	246



## CAPITOLUL 1

### APLICATII LA LEGILE TERMODINAMICE SI TERMOCHIMICE CU APLICABILITATE IN PROCESELE DE ELABORARE A OTELURILOR

1.1. Să se calculeze activitatea fosforului într-un aliaj Fe-C-P care conține 1,55% P și 0,60% C. Starea standard se alege astfel încât  $a_P \rightarrow \% P$  când  $\% P \rightarrow 0$ . Coeficienții de interacțiune se aproximează ca fiind:  $e_P^C = 0,126$  și  $e_P^P = 0,062$ .

Rezolvare:

Conform legii lui Henry, într-o soluție infinit diluată,  $N_i \rightarrow 0$ , activitatea este direct proporțională cu concentrația:

$$a_N = f_N [\% N].$$

unde:  $f_N$  - coeficientul de activitate a lui „N” în soluție infinit diluată

$$a_P = f_P [\% P].$$

Coeficientul de activitate se poate calcula cu relația Wagner-Chipman

$$\log f_P = e_P^P [\% P] + e_P^C [\% C].$$

Prin înlocuire se obține:

$$\log f_P = 0,062 \cdot 1,55 + 0,126 \cdot 0,60 = 0,172;$$

$$\log f_P = 0,172 \Rightarrow f_P = 1,48.$$

Deci, activitatea fosforului va fi:

$$a_P = 1,48 \cdot 1,55 = 2,29.$$

Concluzie

Cu micșorarea conținutului de carbon, rezultă o activitate a fosforului mai mică la același conținut de fosfor și deci procesul de defosforare se va face mai greu.

✱

1.2. Pe baza datelor din figura de mai jos să se calculeze coeficientul de interacțiune  $e_O^C$  știind că  $e_C^C = 0,22$ .



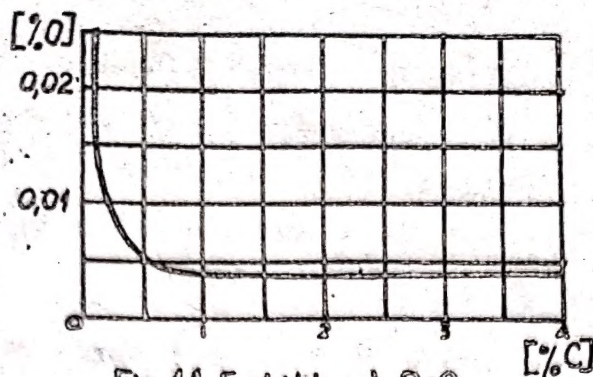


Fig.1.1. Echilibrul C-O.

Rezolvare:

Pentru reacția:  $[\% C] + [\% O] \rightarrow \{CO\}$ , (1)

se obține din tabele termodinamice:

$$\Delta G^0 = -8510 - 7,52 T$$

Pentru reacția (1) se poate scrie valoarea constantei de echilibru:

$$K_c = \frac{P_{CO}}{a_C \cdot a_O}$$

Variația entalpiei libere standard este dată de relația:

$$\Delta G^0 = -RT \ln K = -RT \ln \frac{P_{CO}}{a_C \cdot a_O}$$

În condițiile în care  $P_{CO} = 1$  at se obține:

$$\Delta G^0 = -RT \ln \frac{1}{a_C \cdot a_O} = RT \ln a_C \cdot a_O;$$

$$-22600 = RT \ln a_C \cdot a_O,$$

$$\log a_C \cdot a_O = -\frac{22600}{4,58 \cdot 1873} = -2,64$$

Deoarece  $a_C = f_C [\% C]$ .

prin logaritmare și în conformitate cu relația Wagner-Chipman se poate scrie:

$$\begin{aligned} \log a_C &= \log f_C [\% C] = \log f_C + \log [\% C], \\ \log a_C &= \log [\% C] + e_C^C [\% C] + e_C^O [\% O]. \end{aligned}$$

Similar se poate scrie:

$$\log a_O = \log [\% O] + e_O^O [\% O] + e_O^C [\% C].$$

Considerând că  $[\% O] \approx 0$  obținem:

$$\begin{aligned} \log a_C + \log a_O &= \log [\% C] + e_C^C [\% C] + \log [\% O] + e_O^C [\% C], \\ \log a_C \cdot a_O &= -2,64. \end{aligned}$$



sau

$$- 2,64 = \log [\% C] + e_C^C [\% C] + \log [\% O] + e_O^C [\% C];$$

Din figura 1.1. se aleg punctele:  $[\% C] = 1$ ;  $[\% O] = 0,0035$ ;

Prin înlocuire se obține:

$$- 2,64 = \log [1] + 0,22 + \log 0,0035 + e_O^C,$$

$$e_O^C = - 0,42.$$

Un calcul similar pentru  $\% C = 3,3$  conduce la  $e_O^C = -0,45$ .

Deoarece în literatura de specialitate pentru coeficientul de interacțiune  $e_O^C$  valorile date sînt cuprinse în intervalul  $[- 0,40; - 0,50]$ , rezultatele calculelor efectuate sînt corecte.

✱

1.3. În cursul elaborării unei șarje de oțel care trebuie să conțină maximum 0,1% Co, analizele efectuate au indicat un conținut de 0,5% Co. Știind că micșorarea conținutului de cobalt din oțel nu poate avea loc printr-o reacție de afinare, să se determine presiunea necesară micșorării conținutului de cobalt prin tratarea băii metalice de oțel la 1580°C într-o instalație sub vid de tip D.H.

Rezolvare:

În general la tratarea oțelurilor în instalații sub vid se calculează conținuturile teoretice ce pot fi obținute în condiții de echilibru la temperatura și presiunea date.

Se definește coeficientul de activitate ca raportul dintre activitatea unui component și fracția sa molară:

$$\gamma_i = a_i / X_i.$$

Pentru soluții reale, legea lui Raoult se poate exprima sub forma:

$$a_i = P_i / P_i^0,$$

unde:  $P_i$  - presiunea de vapori a componentului „i” în soluție;

$P_i^0$  - presiunea de vapori a componentului pur.

În condiții de echilibru, activitatea cobaltului din faza gazoasă trebuie să fie egală cu cea din faza lichidă.

$$\frac{P_{Co}}{P_{Co}^0} = \gamma_{Co} X_{Co}. \quad (1)$$

Pentru o soluție infinit diluată  $\gamma_{Co} = 1$ .



De asemenea se poate calcula cu aproximație  $X_{Co}$  având în vedere că se poate defini compoziția chimică a unei soluții prin fracție molară  $X_i$ , a componentului „i” în soluție, care conține i, j și k componente:

$$X_i = \frac{n_i}{n_i + n_j + n_k} = \frac{\frac{\% i}{M_i}}{\frac{\% i}{M_i} + \frac{\% j}{M_j} + \frac{\% k}{M_k}}$$

unde:  $n_i$  - numărul de moli prezente într-o soluție dată;

$\% i$  - procentul în greutate de „i”;

$M_i$  - masa moleculară a lui „i”.

Considerând baia de oțel o soluție infinit diluată, avem:

$$X_{Co} = \frac{\frac{\% Co}{59}}{\frac{100}{56}} = \% Co \frac{0,95}{100}$$

Din tabele termodinamice se obține:

$$\log P_{Co}^0 = - \frac{21200}{T} + 6837$$

Pentru temperatura de  $1530^\circ C$ ,  $P_{Co}^0 = 2,5 \cdot 10^{-5}$  at.

Înlocuind în relația (1), se va obține:

$$\frac{P_{Co}}{760} = 1 \cdot 0,1 \cdot \frac{0,95}{100}$$

$$P_{Co} = 0,18 \cdot 10^{-4} \text{ torr} \approx 0,24 \cdot 10^{-2} \text{ N/m}^2$$

Rezultă deci că în mod practic nu se poate micșora conținutul de cobalt din oțelul dat prin tratarea sub vid în instalații D.H.

■

4.4. Să se traseze diagrama de variație a conținutului de carbon în funcție de cel de crom, până la 20% Cr, într-un oțel inoxidabil la temperatura de  $1650^\circ C$ . Se cunosc:

$$- P_{CO} = 1 \text{ atm} \approx 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$- a_{Cr_2O_3} = 0,1;$$

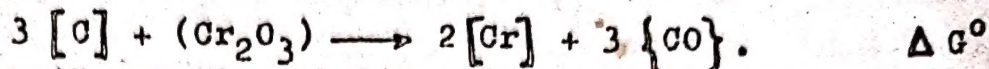
$$- e_{Cr}^{Cr} = 0,0035; \quad e_C^{Cr} = 0,22;$$

$$- e_C^{Cr} = -0,036; \quad e_{Cr}^C = -0,17;$$

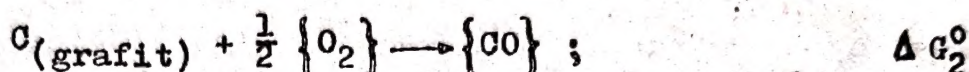
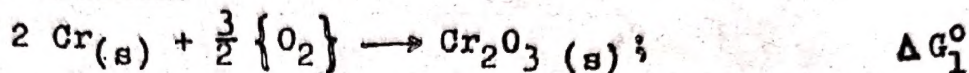


Rezolvare:

Reacția care are loc în baia metalică în timpul procesului de elaborare este de forma:



Această reacție rezultă prin combinarea mai multor reacții după cum urmează:



Valoarea lui  $\Delta G^0$  este dată de relația:

$$\Delta G^0 = - \Delta G_1^0 + 3 \Delta G_2^0 - 3 \Delta G_3^0 + 2 \Delta G_4^0.$$

Prin înlocuire în această relație cu valorile pentru  $\Delta G_1^0$ ,  $\Delta G_2^0$ ,  $\Delta G_3^0$  și  $\Delta G_4^0$  luate din tabele termodinamice, se obține:

$$\Delta G^0 = 181000 - 114,6 T$$

Stiind că valoarea entalpiei libere este dată de relația:

$$\Delta G^0 = - RT \ln K;$$

și că:

$$K_p = \frac{P_{CO}^3 \cdot a_{Cr}^2}{a_C^3 \cdot a_{Cr_2O_3}},$$

$$\log K_p = \log \frac{P_{CO}^3 \cdot a_{Cr}^2}{a_C^3 \cdot a_{Cr_2O_3}};$$

vom obține:

$$\ln K = - \frac{\Delta G^0}{RT}; \quad \log K = - \frac{39000}{4,58 \cdot 1973};$$

$$\log \frac{P_{CO}^3 \cdot a_{Cr}^2}{a_C^3 \cdot a_{Cr_2O_3}} = - \frac{39000}{4,58 \cdot 1973};$$

Pentru  $P_{CO} = 1$  și  $a_{Cr_2O_3} = 0,1$  se obține:



$$\log \frac{a_{Cr}^2}{a_C^3} - \log 0,1 = - \frac{39000}{4,58 \cdot 1973}$$

$$\log \frac{a_{Cr}^2}{a_C^3} = 3,43 \Leftrightarrow 2 \log a_{Cr} - 3 \log a_C = 3,43,$$

$$\log a_C = -1,143 + 0,667 \log a_{Cr}. \quad (1)$$

Cunoscând că activitatea elementelor se schimbă cu compoziția topiturii conform relației:

$$a_N = f_N [\% N];$$

$$a_C = f_C [\% C]; \quad a_{Cr} = f_{Cr} [\% Cr].$$

În continuare se calculează valorile coeficienților de activitate  $f_C$  și respectiv  $f_{Cr}$  pentru diferite conținuturi de crom și respectiv carbon pe baza relațiilor:

$$\log f_{Cr} = e_{Cr}^{Cr} [\% Cr] + e_{Cr}^C [\% C]. \quad (2)$$

$$\log f_C = e_C^C [\% C] + e_C^{Cr} [\% Cr]. \quad (3)$$

Rezultatele calculelor sînt prezentate în tabelul de mai jos:

Tabelul 1.1.

$\% Cr$	$\% C$	$f_{Cr}$	$f_C$
20	1	0,8	0,3
10	1	0,7	0,7
1	1	0,7	1,5
20	0,1	1,1	0,2
10	0,1	1,0	0,5
1	0,1	1,0	1,0

Pe baza acestor date se trasează diagrama din figura 1.2. în care se prezintă variația coeficienților de activitate pentru crom și respectiv carbon în funcție de conținutul de crom pentru conținuturi de carbon constante.

Calculul în continuare a conținutului de carbon în funcție de conținutul de crom din oțel decurge prin aproximări succesive.

Se consideră  $[\% Cr] = 20\%$  și se aproximează că la un conținut de carbon de circa 1% se obține echilibrul.

Pe baza valorilor din tabelul 1.1. prin înlocuire în relația (1) obținem:

$$\log 0,3 [\% C] = -1,143 + 0,667 \log 0,8 - 20$$

$$\log [\% C] = -1,143 - \log 0,3 + 0,667 \log 16$$

$$[\% C] = 1,053.$$



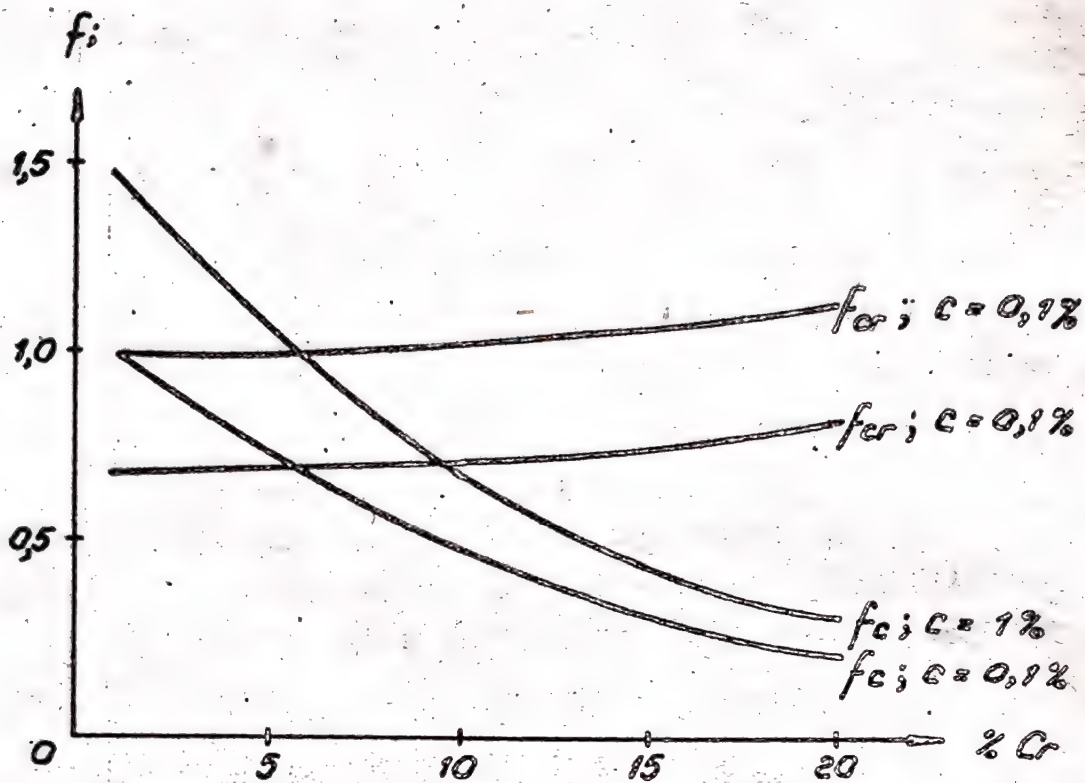


Fig. 1.2. Variația coeficienților de activitate

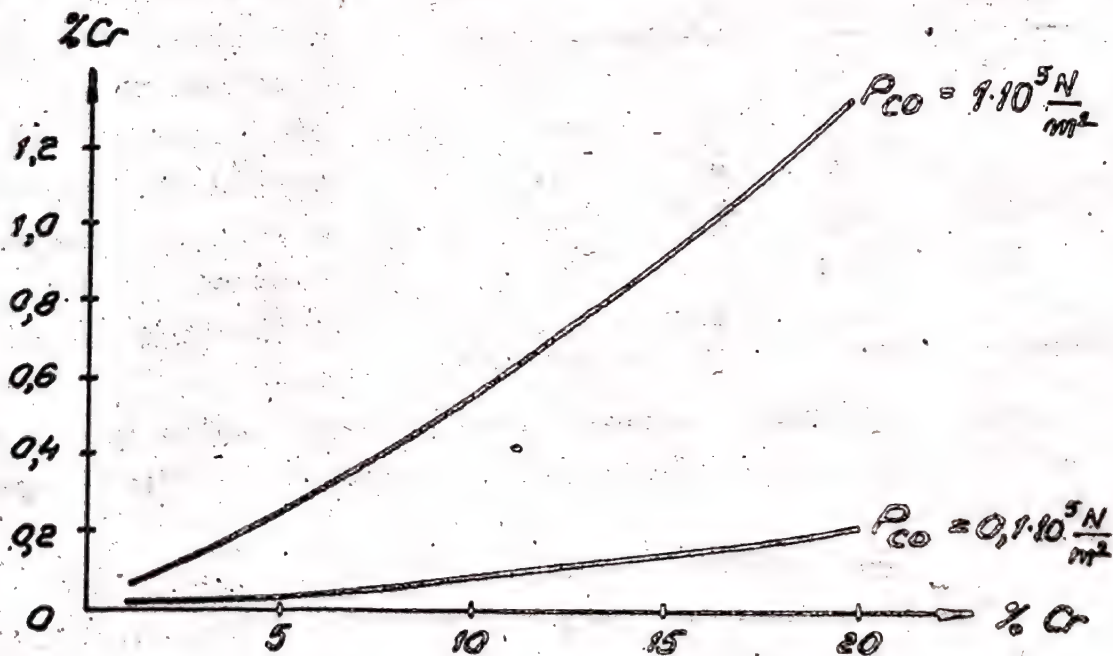


Fig. 1.3. Variația conținutului de carbon în funcție de conținutul de crom.



Deoarece valoarea obținută este mult mai mare decât cea considerată se corectează coeficienții de activitate  $f_{Cr}$  și  $f_C$ . Corecția se poate face atât grafic, prin interpolare folosind diagrama din figura 4.2. cât și analitic cu relațiile (2) și (3).

Prin interpolare în figura 4.2. se obține  $f_{Cr} = 0,7$  și  $f_C = 0,33$ .

În acest caz vom avea:

$$\log 0,33 [\% C] = -1,143 + 0,667 \log 0,7 \cdot 20$$

$$[C] = 1,27\%$$

În mod similar se continuă calculul pentru conținuturi de crom de 15, 10, 5 și respectiv 1%. Rezultatele sînt prezentate în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2.

% Cr	1	5	10	15	20
% C	0,07	0,25	0,55	0,9	1,3

Pe baza acestor date se poate trasa diagrama de variație a carbonului în funcție de conținutul de crom dintr-un oțel inoxidabil pentru  $P_{CO} = 1 \text{ atm}$ , figura 4.3.

În mod analog calculului de mai sus se poate face un calcul și pentru  $P_{CO} = 0,1 \text{ atm} = 0,1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Din figura 4.3. se poate observa importanța deosebită pe care o prezintă scăderea presiunii parțiale a oxidului de carbon, în vederea obținerii unor oțeluri inoxidabile cu conținuturi foarte scăzute de carbon (procedul AOD).

\*

4.5. O topitură Fe-Si cu masa de 1000 g și un conținut inițial de 0,5% Si, este adusă în echilibru cu 100 g zgură, la temperatura de  $1600^\circ\text{C}$ . Conținutul inițial de  $\text{SiO}_2$  din zgură este zero, iar potențialul de oxigen  $1,2 \cdot 10^{-11} \text{ atm} = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ N/m}^2$

Stiind că activitatea  $\text{SiO}_2$  în zgură după stabilirea echilibrului se exprimă prin relația:

$$a_{\text{SiO}_2} = \frac{1}{7} \sqrt{\% \text{SiO}_2}$$

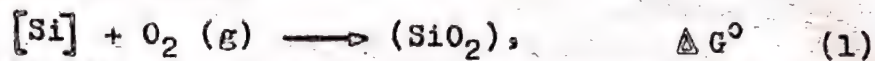
să se calculeze conținutul de siliciu al băii metalice după stabilirea echilibrului baie-zgură.



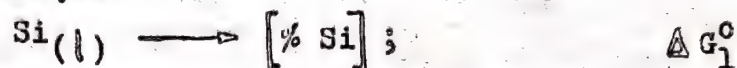
Se cunosc:  $M_{Si} = 28$ ;  $M_{SiO_2} = 60$ ;

Rezolvare:

Reacția care are loc pentru stabilirea echilibrului topitură-zgură este de forma:



Entalpia liberă a reacției (1) se determină pe baza următoarelor reacții:



$$\Delta G_1^0 = -28500 + 6,09 T.$$

$$\Delta G_2^0 = -221000 + 46,2 T.$$

$$\Delta G^0 = \Delta G_2^0 - \Delta G_1^0 = -221000 + 46,2 + 28500 - 6,09 = -192500 + 52,29 T.$$

Constanta de echilibru a reacției (1) este:

$$K_p = \frac{a_{SiO_2}}{a_{Si} p_{O_2}} = \frac{\frac{1}{7} \sqrt{\% SiO_2}}{[\% Si] \cdot 1,2 \cdot 10^{-11}} \quad (2)$$

deoarece  $a_{Si} = f_{Si} [\% Si]$ , și considerînd că siliciul formează o soluție ideală, dizolvîndu-se ideal în fierul lichid, se poate scrie:

$$a_{Si} = [\% Si].$$

În continuare se scrie ecuația bilanțului siliciului pentru 1000 g topitură fier și 100 g zgură înainte și după stabilirea echilibrului:

$$\begin{aligned} 0,5 \cdot \frac{1000}{100} &= [\% Si] \cdot \frac{1000}{100} + \frac{28}{60} (\% SiO_2) \frac{100}{100} \\ 5 &= 10 [\% Si] + \frac{28}{60} (\% SiO_2) \\ (\% SiO_2) &= \frac{75}{7} (1 - 2 [\% Si]) \end{aligned} \quad (3)$$

Prin înlocuirea relației (3) în relația (2) și prin logaritmare vom obține:

$$\begin{aligned} \log K_p &= \log \frac{\frac{1}{7} \sqrt{\frac{75}{7} (1 - 2 [\% Si])}}{[\% Si] \cdot 1,2 \cdot 10^{-11}} \\ \log K_p &= \log \frac{1}{7} + \frac{1}{2} \log \frac{75}{7} (1 - 2 [\% Si]) - \log [\% Si] - \\ &\quad - \log 1,2 \cdot 10^{-11} \end{aligned} \quad (4)$$



Dependența constantei de echilibru  $K_p$  de temperatură este dată de relația:

$$\Delta G^0 = - RT \ln K,$$

$$\ln K = - \frac{\Delta G^0}{RT}.$$

Inlocuind valoarea lui  $\Delta G^0$  pentru temperatura de  $1600^\circ\text{C}$ :

$$\log K = - \frac{192500 + 52,29 T}{4,58 \cdot 1873} = - \frac{192500}{4,58 \cdot 1873} + \frac{52,29}{4,58} = 11.$$

În acest caz relația (4) devine:

$$11 = \log \frac{1}{7} + \frac{1}{2} \log \frac{75}{7} (1 - 2 [\% \text{ Si}]) - \log [\% \text{ Si}] - \log 1,2 \cdot 10^{-11};$$

$$\log [\% \text{ Si}] - \frac{1}{2} \log \frac{75}{7} (1 - 2 [\% \text{ Si}]) = - 11 + \log \frac{1}{7} - \log 1,2 + 11.$$

$$\frac{[\% \text{ Si}]}{\sqrt{\frac{75}{7} (1 - 2 [\% \text{ Si}] )}} = \frac{1}{7 \cdot 1,2}.$$

Prin ridicare la pătrat și efectuarea calculelor se obține

$$[\% \text{ Si}]^2 + 0,304 [\% \text{ Si}] - 0,152 = 0.$$

Luând în considerare valoarea pozitivă a ecuației se obține conținutul de siliciu al băii metalice după stabilirea echilibrului, topitură zgură:

$$[\% \text{ Si}] = 0,27.$$

\*

1.6. Pe baza datelor din figura 1.4. să se calculeze coeficientul de interacțiune de ordinul doi,  $r_O^P$ . Conținutul de oxigen în timpul cercetărilor efectuate a fost foarte scăzut.



Fig. 1.4. Dependența dintre coeficientul de activitate al oxigenului și concentrația de fosfor în baia metalică Fe-P-O



Rezolvare:

Pentru calculul coeficientului de activitate a oxigenului se poate utiliza relația:

$$\log f_0 = e_0^0 [\% O] + e_0^P [\% P] + r_0^0 [\% O]^2 + r_0^P [\% P]^2 + r_0^P [\% P] [\% O] .$$

Deoarece conținutul de oxigen al băii metalice a fost foarte scăzut relația (1) se poate scrie:

$$\log f_0 = e_0^P [\% P] + r_0^P [\% P]^2 . \quad (2)$$

Prin definiție, se exprimă coeficientul de interacțiune de ordinul întâi,  $e_0^P$ , prin relația:

$$e_0^P = \left( \frac{\partial \log f_0}{\partial [\% P]} \right)_{[\% P] \rightarrow 0} .$$

Dacă la curba din figura 14. se trasează tangenta în punctul  $[\% P] = 0$ , atunci  $\text{tg} \alpha$  reprezintă tocmai  $e_0^P$ .

$$e_0^P = \frac{0,14}{2,1} = 0,067 .$$

După cum se constată din figură, coeficienții de ordinul unu,  $e_0^P$ , pot fi utilizați până la conținuturi de 0,75% P, adică pe acele porțiuni pe care tangenta urmărește curba. Peste aceste valori va trebui să se ia în considerare coeficienții de interacțiune de ordinul doi,  $r_0^P$ .

Pentru calculul valorilor  $r_0^P$ , se utilizează metoda încercărilor, pe baza datelor din figura 14.

Astfel pentru  $[\% P] = 3$  se obține  $\log f_0 = 0,1$ . Prin înlocuire în relația (2) se obține:

$$\begin{aligned} 0,10 &= 0,067 \cdot 3 + r_0^P \cdot 3^2 , \\ r_0^P &= - 0,011 . \end{aligned}$$

Pentru  $[\% P] = 2$  se obține  $\log f_0 = 0,09$ . Prin înlocuire în relația (2) se obține:

$$\begin{aligned} 0,09 &= 0,067 \cdot 2 + r_0^P \cdot 2^2 \\ r_0^P &= - 0,011 . \end{aligned}$$

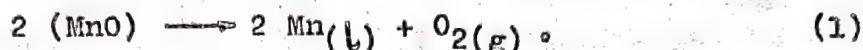
Coeficienții de interacțiune de ordinul doi, se utilizează de obicei numai în cazul oțelurilor inoxidabile, rapide și în general înalt aliate.



1.7. Se consideră o zgură lichidă la temperatura de  $1600^{\circ}\text{C}$  cu următoarea compoziție: 40%  $\text{MnO}$ ; 10%  $\text{FeO}$ ; 20%  $\text{SiO}_2$  și 30%  $\text{CaO}$ . Să se determine potențialul de oxigen la care poate avea loc separarea manganului din zgură.

Rezolvare:

Disocierea oxidului de  $\text{Mn}$  din zgură poate avea loc pe baza reacției:



Pentru reacția (1) la temperatura de  $1600^{\circ}\text{C}$ , valoarea entalpiei libere  $\Delta G^{\circ} = 115000 \text{ cal} = 480700 \text{ J}$ .

Constanta de echilibru a reacției (1) este:

$$K_p = \frac{P_{\text{O}_2} \cdot a_{\text{Mn}}^2}{a_{\text{MnO}}^2}$$

Deoarece în urma procesului de disociere a oxidului de  $\text{Mn}$  din zgură rezultă mangan metalic lichid se consideră  $a_{\text{Mn}} = 1$ .

Stiind că:

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K_p = -4,576 T \log K_p,$$

pentru temperatura de  $1600^{\circ}\text{C}$  se poate scrie:

$$\log \frac{P_{\text{O}_2}}{a_{\text{MnO}}^2} = - \frac{\Delta G^{\circ}}{4,576 T};$$

$$\log \frac{P_{\text{O}_2}}{a_{\text{MnO}}^2} = - \frac{115000}{4,576 \cdot 1873}; \quad \log \frac{P_{\text{O}_2}}{a_{\text{MnO}}^2} = -13,40$$

$$\log P_{\text{O}_2} - 2 \log a_{\text{MnO}} = -13,40$$

$$\log P_{\text{O}_2} = 2 \log a_{\text{MnO}} - 13,40 \quad (2)$$

În relația (2) nu se cunoaște  $a_{\text{MnO}}$ . Pentru calculul activității în zgură se adoptă modelul lui Temkin.

Pe baza teoriei ionice asupra structurii zgurilor metalurgice topite, Temkin a definit activitatea unui component care în soluție ionică ideală formează  $v_+$  cationi și  $v_-$  anioni:

$$a = N_+^{v+} \cdot N_-^{v-};$$

$$a_{\text{MnO}} = N_{\text{Mn}}^{2+} \cdot N_{\text{O}}^{2-}.$$



unde:  $N_{Mn}$  - fracția ionică pentru  $Mn^{2+}$ ;  
 $N_O$  - fracția ionică pentru  $O^{2-}$  (ioni de oxigen liberi)  
 Pentru fiecare tip de ioni se poate defini fracția  
 lară:

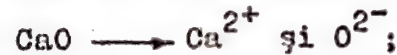
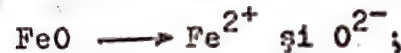
$$N_{R^+} = \frac{n_{R^+}}{n_+}; \quad N_{y^-} = \frac{n_{y^-}}{n_-};$$

unde s-a notat:  $R^+$  cationul și  $y^-$  anionii;  
 $n$  - numărul de moli.

$$N_{Mn} = \frac{n_{Mn}}{n_{Mn} + n_{Fe} + n_{Ca}}$$

$$N_O = \frac{n_O}{n_O + n_{SiO_4}}$$

Oxizii din compoziția zgurii formează următorii cationi  
 și anioni:



În tabelul 4.3. se prezintă rezultatele calculelor pen-  
 tru 1000 g zgură.

Tabelul 4.3.

Oxid	Masa [g]	Număr de moli	Oxigen total [moli]	Oxigen legat [moli]	Oxigen liber [moli]
MnO	400	5,64	5,64	-	
FeO	100	1,39	1,39	-	
SiO <sub>2</sub>	200	3,34	6,68	13,36	
CaO	300	5,36	5,36	-	
TOTAL	1000		19,07	13,36	19,07 - 13,36 = 5,71

$$N_{Mn} = \frac{5,64}{5,64 + 1,39 + 5,36} = 0,455.$$

$$N_O = \frac{5,71}{5,71 + 3,34} = 0,632.$$

$$a_{MnO} = 0,455 \cdot 0,632 = 0,288.$$



Înlocuind  $a_{\text{MnO}}$  în relația (2) obținem:

$$\log P_{\text{O}_2} = 2 \log 0,288 - 13,40$$

$$\log P_{\text{O}_2} = -14,5$$

$$P_{\text{O}_2} = 3 \cdot 10^{-15} \text{ atm} = 3 \cdot 10^{-10} \text{ N/m}^2$$

\*

1.8. În cadrul unor încercări privind desulfurarea fierului lichid s-a studiat posibilitatea utilizării hidrogenului ca agent desulfurant în baza reacției:



Încercările au fost efectuate într-un creuzet de alumina peste care s-a trecut un curent de hidrogen și argon. Utilizând un amestec 50%  $\text{H}_2$  și 50% Ar la o presiune totală de 1 atm s-a obținut o viteză de desulfurare:

$$\dot{n}_{\text{S}} = 1,18 \cdot 10^{-6} a_{\text{S}} [\text{mol/s}],$$

unde:  $a_{\text{S}}$  - activitatea sulfului în topitură;

La temperatura de  $1550^\circ\text{C}$  constanta reacției de desulfurare este  $K_{\text{S}} = 2,44 \cdot 10^{-3}$ . Se cunoaște de asemenea coeficientul de difuzie  $D_{\text{H}_2\text{S}} = 5,72 \text{ cm}^2/\text{s}$  și suprafața de contact gaz-metal egală cu  $8,65 \text{ cm}^2$ .

Să se determine grosimea stratului de difuzie de la limita de fază metal-gaz.

Rezolvare:

Se consideră ca factor limitator de viteză difuzia  $\text{H}_2\text{S}$  într-un strat la limita de fază metal-gaz.

În condiții de regim staționar se poate aplica prima lege a lui Fick:

$$\dot{n}_{\text{S}} = -DA \frac{\partial c}{\partial x},$$

unde:  $\dot{n}_{\text{S}}$  - viteza de desulfurare,  $\dot{n}_{\text{S}} = \frac{dn_{\text{S}}}{dt}$ ;

$D$  - coeficientul de difuzie, în  $\text{cm}^2/\text{s}$ ;

$A$  - suprafața de difuzie;

$\frac{\partial c}{\partial x}$  - gradientul de concentrație.

Se admite că în tot timpul încercărilor  $P_{\text{H}_2} \gg P_{\text{H}_2\text{S}}$ .  
Procesul se desfășoară astfel încât  $\dot{n}_{\text{S}} = \dot{n}_{\text{H}_2\text{S}}$ .



Gradientul de concentrație este reprezentat în figura 1.5.

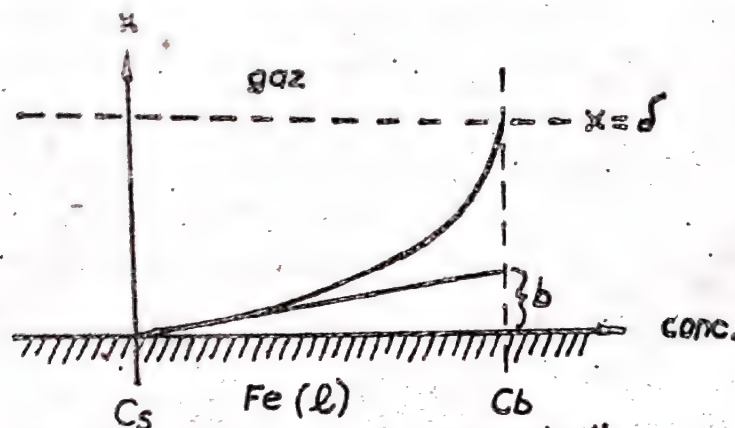


Fig. 1.5. Gradientul de concentrație

Reprezentările din figura 1.5. au următoarele semnificații:

$\delta$  - grosimea reală a stratului limită de fază;

$b$  - grosimea echivalentă a stratului limită de fază.

Grosimea echivalentă  $b$ , se poate determina grafic ducând tangenta la curba  $\frac{\partial c}{\partial x}$  în punctul  $x = 0$ .

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{C_b - C_s}{b} \quad (2)$$

În aceste condiții se poate scrie viteza de formare a  $H_2S$  ca fiind:

$$\dot{n}_{H_2S} = - D_{H_2S} A \frac{(C_{H_2S})_b - (C_{H_2S})_s}{b} \quad (3)$$

Pe baza considerației că  $P_{H_2} \gg P_{H_2S}$  se poate aprecia că  $(C_{H_2S})_b \approx 0$ .

Pentru determinarea concentrației  $H_2S$  la limita de fază se folosește expresia constantei de echilibru pentru reacția de desulfurare:

$$K = \frac{(P_{H_2S})_s}{(P_{H_2})_s a_S} = 2,44 \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

Știind că gazul se compune din 50%  $H_2$  și 50% Ar și că circulația lui nu este frînată se poate scrie:

$$(P_{H_2})_s = (P_{H_2})_b = 0,5 \text{ atm} \approx 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

Înlocuind în relația (4) se obține:

$$(P_{H_2S})_s = 2,44 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 \cdot a_S = 1,22 \cdot 10^{-3} a_S$$



Pe de altă parte se poate scrie că:

$$(C_{H_2S})_s = \frac{(P_{H_2S})_s}{RT} = \frac{1,22 \cdot 10^{-3} \cdot a_s}{82,05 \cdot 1823} = 0,816 \cdot 10^{-8} a_s$$

Ca urmare se poate acum reveni la relația (3) care după înlocuire devine:

$$\begin{aligned} \dot{n}_{H_2S} &= - D_{H_2S} \cdot A \frac{0 - 0,816 \cdot 10^{-8} a_s}{b} \\ b &= \frac{0,816 \cdot 10^{-8} D_{H_2S} \cdot A \cdot a_s}{\dot{n}_{H_2S}} = \frac{0,816 \cdot 10^{-8} \cdot 5,72 \cdot 8,05 a_s}{1,18 \cdot 10^{-6} \cdot a_s} \\ b &= 0,32 \text{ cm} \end{aligned}$$

Observație. În general grosimea echivalentă a stratului limită de fază este de ordinul:

- b = 0,1...1 cm, pentru gaze;
- b = 0,01...0,1 cm, pentru zgură;
- b = 0,001...0,01 cm, pentru oțel.

✱

1.9. Se supune o baie metalică de oțel, cu masa de 20 t, care conține 0,10% S unui proces de desulfurare, prin utilizarea unei zguri foarte bazice. Suprafața băii metalice se aproximează la circa 30 m<sup>2</sup> ca urmare a efectului de agitare a băii. Se mai cunosc:

- Temperatura băii metalice, 1600°C;
- densitatea băii de oțel lichid,  $\rho = 7,200 \text{ g/cm}^3$
- coeficientul de transfer  $\frac{D_s}{b} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ cm/s}$ .

Să se calculeze timpul necesar micșorării conținutului de sulf de la 0,1 la 0,01%.

Rezolvare:

Se consideră ca factor limitator de viteză, difuzia sulfurului printr-un strat de oțel la limita de fază.

Avînd în vedere că transportul sulfurului din baie în zgură este limitat de difuzia printr-un strat de oțel la limita de fază metal-zgură se poate aplica legea întâi a lui Fick:

$$\dot{n}_S = - D_S A \frac{(C_S)_b - (C_S)_s}{b}, \quad (1)$$



unde:  $\dot{n}_S$  - viteza de desulfurare;

A - suprafața de separare baie-zgură;

$(C_S)_b$  - concentrația sulfurului în stratul limită în contact cu baia metalică;

$(C_S)_s$  - concentrația sulfurului în stratul limită în contact cu zgura.

Deoarece zgura este foarte bazică și cu putere mare de desulfurare se poate aprecia  $(C_S)_s = 0$ .

În expresia vitezei de desulfurare se poate trece de la variația numărului de moli la variația concentrației:

$$\dot{n}_S = \frac{d n_S}{dt} = V \frac{d C_S}{dt} \quad (2)$$

unde: V - volumul masei de oțel.

Prin înlocuire în relația (1) se obține:

$$V \frac{d C_S}{dt} = - D_S A \frac{(C_S)_b}{b}$$

$$\frac{d C_S}{(C_S)_b} = - \frac{A}{V} \cdot \frac{D_S}{b} dt \quad (3)$$

Relația (3) se poate integra în limitele 0,1 pînă la 0,01 pentru  $(C_S)_b$  corespunzător 0 pînă la  $\tau$  pentru variabila t.

$$\int_{0,1}^{0,01} \frac{d C_S}{(C_S)_b} = - \frac{A}{V} \frac{D_S}{b} \int_0^{\tau} dt$$

$$\ln (C_S)_b \Big|_{0,10}^{0,01} = - \frac{A}{V} \frac{D_S}{b} t \Big|_0^{\tau}$$

$$\ln \frac{0,01}{0,10} = - \frac{A}{V} \frac{D_S}{b} \tau$$

$$\tau = - \frac{V \cdot b}{A \cdot D_S} \ln \frac{0,01}{0,10} = \frac{20 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^{-2} \cdot 30 \cdot 10^4} \ln \frac{0,01}{0,10}$$

$$\tau = 110 \text{ s}$$

\*

4.10. Se consideră o oală de turnare prevăzută cu instalație de agitare inductivă a băii metalice; în care se toarnă 10 t oțel.

Oala este căptușită cu silica.

După turnare se începe operația de agitare inductivă.



Diferența de concentrație între conținutul de oxigen la limita baie cãptușealã și volumul masei de oțel este de 200 ppm.

Pentru cazul agitãrii inductive s-a determinat pe cale experimentalã urmãtoarea relație de dependență:

$$Sh = 0,027 Re^{0,8} Sc^{0,4}$$

unde:  $Re$  - numãrul Reynolds,  $Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$ ;

$Sh$  - numãrul Sherwoods,  $Sh = \frac{\alpha d}{D_0}$ ;

$d$  - diametrul oalei,  $d = 200$  cm;

$Sc$  - numãrul Schmidts,  $Sc = \frac{\nu}{D_0}$ ;

$v$  - viteza de agitãre,  $v = 10$  m/s;

$\nu$  - vîscozitatea cinematicã  $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ ;

$\eta$  - vîscozitatea dinamicã,  $\eta = 5$  CP;

$D_0$  - coeficientul de difuzie,  $D_0 = 1,5 \cdot 10^{-4}$  cm<sup>2</sup>/s.

Sã se calculeze viteza de transfer de masã a oxigenului din cãptușeala refractarã în baie de oțel.

Rezolvare:

În general ecuația de transfer de oxigen de la cãptușealã la baie de oțel se poate scrie ca fiind:

$$\dot{n}_0 = A \alpha \Delta C,$$

unde:  $\dot{n}_0$  - fluxul de oxigen;

$A$  - suprafața de contact zidãrie-baie, în cm<sup>2</sup>;

$\alpha$  - coeficientul de transport de masã pentru oxigen, în cm/s;

$C$  - gradientul de concentrație, în g/cm<sup>3</sup> sau mol/cm<sup>3</sup>.

În relația (1) nu se cunoaște coeficientul de transport de masã pentru oxigen. Pentru aceasta trebuie sã se determine mai întîi valoarea numãrului lui Scherwood din relația de dependență datã.

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{10 \cdot 200}{5 \cdot 10^{-2} / 7,2} = 2,9 \cdot 10^5.$$

$$Sc = \frac{\nu}{D_0} = \frac{5 \cdot 10^{-2} / 7,2}{1,5 \cdot 10^{-4}} = 46,3$$

Prin introducerea acestor valori în relația de dependență se obține:

$$Sh = 0,027 (2,9 \cdot 10^5)^{0,8} \cdot (46,3)^{0,4} \quad (2)$$

Se logaritmeazã relația (2):



$$\log Sh = \log 0,027 \cdot (2,9 \cdot 10^5)^{0,8} \cdot (46,3)^{0,4}$$

$$\log Sh = \log 0,027 + 0,8 \log 2,9 \cdot 10^5 + 0,4 \log 46,3$$

După rezolvare se obține:

$$Sh = 2920$$

Prin înlocuire în relația numărul Sherwood se determină coeficientul  $\alpha$ :

$$2920 = \frac{\alpha \cdot 200}{1,5 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow \alpha = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$$

În continuare se calculează suprafața de contact zidărie-baie:

$$A = \pi r^2 + 2 \pi r h = \frac{\pi d^2}{4} + \pi d h$$

unde:  $h$  - înălțimea coloanei de oțel.

Pentru calculul înălțimii coloanei de oțel se are în vedere volumul ocupat de oțel în oală:

$$\frac{\pi d^2}{4} h = \frac{M}{\rho} \Leftrightarrow \frac{\pi d^2}{4} h = \frac{10 \cdot 10^6}{7,2}$$

$$h = \frac{10 \cdot 10^6}{7,2} \cdot \frac{4}{\pi (200)^2} \simeq 44,3 \text{ cm}$$

$$A = \frac{\pi \cdot 200^2}{4} + \pi \cdot 200 \cdot 44,3 \simeq 59200 \text{ cm}^2$$

Se exprimă gradientul de concentrație între conținutul de oxigen la limita baie-căptușeală și volumul masei de oțel:

$$\Delta C = 200 \text{ ppm} = 0,02\% = \frac{0,02 \cdot 7,2}{100} \text{ g/cm}^3$$

$$\Delta C = 1,44 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$

Prin înlocuire în relația (1) se poate calcula viteza de transfer de masă a oxigenului ca fiind:

$$\dot{n}_O = 59200 \cdot 2,2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,44 \cdot 10^{-3} = 0,185 \text{ g/s}$$

Dacă se presupune că agitarea inductivă a oțelului în oală durează o oră și că se menține constant gradientul de concentrație, atunci vor fi transportate din căptușeală 666 g oxigen, ceea ce corespunde la o creștere a concentrației oxigenului cu 67 ppm.

În practică însă diferența de concentrație se micșorează continuu și deci și viteza de transfer de masă a oxigenului.



1.11. Să se calculeze distribuția longitudinală a sulfului într-un lingou de două tone în funcție de cantitatea de oțel re-topit în timpul procesului de retopire electrică sub zgură.

Cantitatea de zgură reprezintă 5 % din masa lingoului.

Se consideră că în orice moment există un echilibru între oțelul topit și zgură și că raportul de repartiție al sulfului între zgură și baie este egal cu 10. Conținutul mediu de sulf din oțel este egal cu 0,02 % și din zgură 0,01 %.

Experimentarea are loc în atmosferă de argon.

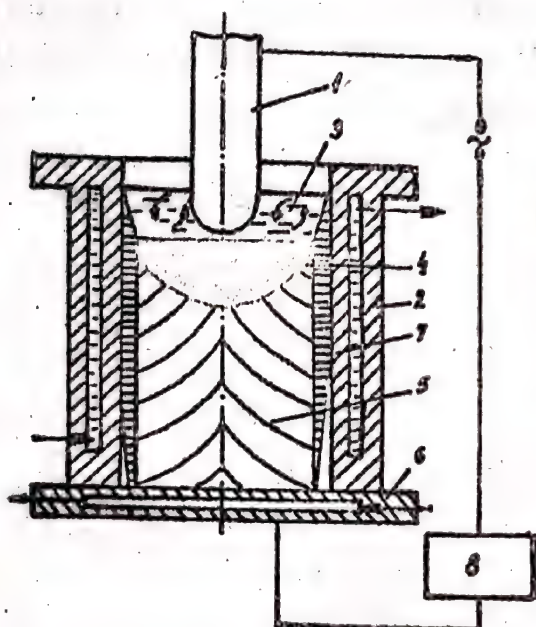


FIG.1.6. Schema de principiu a procedurii REZ :

- 1-electrod consumabil;
- 2-cristalizor de cupru răcit cu apă;
- 3-zgură;
- 4-baia metalică;
- 5-lingou retopit;
- 6-placă de bază răcită cu apă;
- 7-strat de zgură solidă;
- 8-transformator

Rezolvare :

După cum se știe în timpul procesului de retopire electrică sub zgură a oțelurilor cu conținut ridicat de sulf se obține un lingou cu un conținut crescător de jos în sus. Acest fenomen se datorește faptului că are loc o creștere a conținutului de sulf din zgură pe măsură ce electrodul se retopește.

Se fac următoarele notații :

$C_z$  - conținutul de sulf din zgură ;

$C_z^0$  - conținutul mediu de sulf în zgură;  $C_z^0 = 0,01 \%$ ;

$C_e^0$  - conținutul mediu de sulf din electrodul de oțel,  
 $C_e^0 = 0,02 \%$  ;



- $C_L$  - conținutul de sulf din lingoul de oțel;  
 $C_L^0$  - conținutul mediu de sulf din lingou,  $C_L^0 = \frac{C_Z^0}{10}$ ;  
 $M_Z^0$  - cantitatea de zgură; se consideră o cantitate constantă de zgură,  $M_Z^0 = \frac{5}{100} \cdot 2000 = 100$  kg;  
 $M_L^0$  - masa finală a lingoului,  $M_L^0 = 2000$  kg;  
 $M_L$  - masa de oțel retopit din lingoul la un moment dat, în kg.

Se alcătuiește bilanțul sulfului avînd în vedere că la un moment dat diferența dintre cantitatea de sulf conținută în  $dM_L$  oțel sub formă de electrod și cantitatea de sulf care se găsește în  $dM_L$  lingou retopit reprezintă cantitatea de sulf care a condus la creșterea conținutului de sulf a zgurei  $M_Z^0$  cu  $dC_Z$ .

$$C_e^0 dM_L - C_L dM_L = dC_Z M_Z^0 \quad (1)$$

Stiind că  $\frac{dC_Z^0}{dC_L^0} = 10$ , prin înlocuire în relația (1) se obține:

$$dM_L (C_e^0 - C) = 10 dC_L M_Z^0$$

$$\frac{dM_L}{10 M_Z^0} = \frac{dC_L}{C_e^0 - C_L}$$

Prin reintegrare se obține:

$$\int_{M_L=0}^{M_L} \frac{dM}{10 M_Z^0} = \int_{C_L=C_L^0}^{C_L} \frac{dC_L}{C_e^0 - C_L}$$

Avînd în vedere că  $C_L^0 = \frac{C_Z^0}{10}$  după efectuarea calculelor se obține:

$$C_L = C_e^0 \left[ 1 - \left( 1 - \frac{C_Z^0}{10 C_e^0} \right) e^{-M_L / 10 M_Z^0} \right]$$

$$C_L = 0,02 \left[ 1 - \left( 1 - \frac{0,01}{10 \cdot 0,02} \right) e^{-M_L / 10 \cdot 100} \right]$$

$$C_L = 0,02 (1 - 0,95 e^{-M_L / 1000})$$

Rezultatele calculelor pentru distribuția sulfului pe înălțimea lingoului, deci în funcție de masa acestuia, se prezintă în tabelul 4.4., iar în figura 4.7. se prezintă această distribuție.



TABELUL 1.4.

M în kg.	% S în lingou
0	0,001
500	0,0085
1000	0,0130
1500	0,01576
2000	0,01742

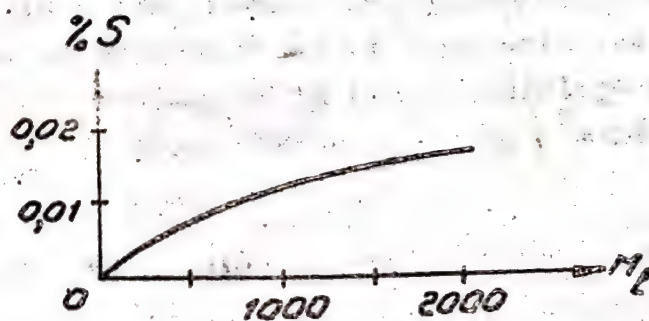


Fig. 1.7 Distribuția sulfurului pe înălțimea lingoului.



## CAPITOLUL 2

### APLICATII IN CAZUL TEHNOLOGIEI DE ELABORARE A OTELURILOR IN CUPTOARE ELECTRICE CU ARC

2.1. Intr-o secție de turnătorie de oțel se dispune de un cuptor electric cu arc dotat cu un transformator de 3500 kVA cu tensiunea maximă  $U_b = 240$  V și cu densitatea de curent  $\Delta = 15$  A/cm<sup>2</sup>. Să se calculeze diametrul electrozilor de grafit utilizați în funcționarea cuptorului, știind că factorul de putere  $\cos \varphi = 0,85$ .

Rezolvare:

Se determină intensitatea maximă  $I$  din relația:

$$I = \frac{1000 P_t}{\sqrt{3} U_b \cdot \cos \varphi} = \frac{1000 \cdot 3500}{\sqrt{3} \cdot 240 \cdot 0,85} = 9917 \text{ A}.$$

Pentru diametrul electrozilor se folosește relația:

$$d = \sqrt{\frac{4I}{\pi \Delta}};$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 9917}{\pi \cdot 15}} = 29 \text{ cm} ; d = 290 \text{ mm}.$$

\*

2.2. Să se determine diametrul și adâncimea băii unui cuptor electric cu arc cu capacitatea de 5 t. Se consideră că zgura reprezintă 5% din masa oțelului lichid și se cunosc:

$$\rho_{\text{oțel}} = 6900 \text{ kg/m}^3 \text{ și } \rho_{\text{zg}} = 2950 \text{ kg/m}^3.$$

Rezolvare:

Se determină masa zgurei lichide; volumul oțelului lichid respectiv al zgurei lichide:

$$M_{\text{zg}} = 0,05 \cdot 5000 = 250 \text{ kg}.$$

$$V_{\text{oțel}} = \frac{M_{\text{oțel}}}{\rho_{\text{oțel}}} = \frac{5000}{6900} = 0,725 \text{ m}^3.$$

$$V_{\text{zg}} = \frac{M_{\text{zg}}}{\rho_{\text{zg}}} = \frac{250}{2950} = 0,085 \text{ m}^3.$$



Volumul total al băii metalice va fi:

$$V_{băii} = V_{oțel} + V_{zg} = 0,810 \text{ m}^3.$$

Diametrul respectiv și adâncimea băii se calculează cu relațiile:

$$D_b = \sqrt[3]{\frac{V_b}{0,0968}} = \sqrt[3]{\frac{0,810}{0,0968}} = 2,030 \text{ m.}$$

$$h_b = \sqrt[3]{\frac{V_b}{12,1}} = \sqrt[3]{\frac{0,810}{12,1}} = 0,400 \text{ m.}$$

23. Să se determine diametrul electrozilor de grafit care pot fi utilizați la un cuptor electric cu arc cu înălțimea  $H$  deasupra pragului ugi, 1200 mm. Se cunoaște distanța între capetele de prindere ale electrozilor  $a = 300 \text{ mm}$  și  $k = 2,5$ .

Rezolvare:

Pentru calculul diametrului electrozilor se utilizează relațiile

$$D_e = \frac{2(2d+a)}{\sqrt{3}} \text{ [m]} \quad ; \quad D_e = \frac{D_{im}}{k} \text{ [m]} ;$$

$$H = (0,36 \div 0,38) D_{im};$$

unde  $D_{im}$  - diametrul interior mediu al pereților;  
 $D_e$  - diametrul cercului pe care se găsesc electrozii;  
 $d$  - diametrul electrozilor;

$$D_{im} = \frac{1200}{0,36 \div 0,38} = 3,330 \div 3,030 \text{ m.}$$

$$D_e = \frac{3,330 \div 3,030}{2,5} = 1,330 \div 1,210 \text{ m.}$$

$$d = \frac{\sqrt{3}(1,330 \div 1,210) - 2 \cdot 300}{4} = 425 \div 375 \text{ mm}$$

Se alege:  $d = 400 \text{ mm}$ ;

24. Să se determine cantitatea de fontă cu 3,5% C și de fier vechi cu 0,2% C, necesară în încălzirea unui cuptor electric bazic, cu capacitatea de 3t, dacă la sfârșitul topirii baia conține 0,55% C. Se consideră arderea carbonului în perioada de topi-



re :  $a_0 = 20\%$ .

Rezolvare:

Conținutul de carbon necesar în încălzitură se calculează cu relația:

$$\langle C \rangle = \frac{[C]_t}{1-a_0},$$

$$\langle C \rangle = \frac{0,55}{1-0,20} = 0,69 \%$$

Notăm :

x - cantitatea de fontă, în %;

y - cantitatea de fier vechi, în %;

În aceste condiții rezultă sistemul:

$$\begin{cases} x + y = 100 \\ \frac{3,5}{100}x + \frac{0,2}{100}y = 0,69 \end{cases}$$

Se obține:  $x = 14,85\%$  și  $y = 85,15\%$ .

Rezultă: cantitatea de fontă :  $30 \cdot 14,85 = 445 \text{ kg}$ .

cantitatea de fier vechi :  $30 \cdot 85,15 = 2555 \text{ kg}$ .

\*

2.5. La un cuptor electric bazic de 5 t, se lucrează cu 6% zgură. S-a constatat că, conținutul de CaO din zgură este de 32 %. Cît var cu 95% CaO este necesar să se adauge pentru a se mări conținutul de CaO la 40%.

Rezolvare :

Cantitatea de zgură din cuptor :  $\frac{6}{100} \cdot 5000 = 300 \text{ kg}$ .

Cantitatea de CaO din zgură :  $300 \cdot \frac{32}{100} = 96 \text{ kg CaO}$ .

Dacă notăm cu x cantitatea de var rezultă :

$$\frac{96 + 0,95x}{300 + x} \cdot 100 = 40,$$

$x = 43,6 \text{ kg var}$ .

2.6. Ce cantitate de var cu 95% CaO, trebuie adăugată într-un cuptor electric cu arc cu capacitatea de 5 t, în vederea creșterii



bazicității zgurei de la 2,3 la 3,5 , considerind că zgura reprezintă 5% din masa oțelului.

Rezolvare:

$$B = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{MgO} + \% \text{MnO} + \% \text{FeO}}{\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{P}_2\text{O}_5}$$

Ușual se folosește  $B = \frac{\% \text{CaO}}{\% \text{SiO}_2}$ ,

$B = 2,3$ , rezultă :  $\text{CaO} = 2,3 \text{ SiO}_2$ .

Cantitatea de zgură este  $\frac{5}{100} \cdot 5000 = 250 \text{ kg}$ .

Calculăm cantitatea de CaO și SiO<sub>2</sub> din zgura existentă în cuptor:

$$\begin{cases} \text{CaO} + \text{SiO}_2 = 100 \\ \text{CaO} = 2,3 \text{ SiO}_2 \end{cases}$$

Rezultă:

$$\text{SiO}_2 = 30,3\% \text{ și } \text{CaO} = 69,7\%.$$

Deci din zgură vom avea

$$\frac{30,3}{100} \cdot 250 = 75,75 \text{ kg SiO}_2.$$

$$\frac{69,7}{100} \cdot 250 = 174,25 \text{ kg CaO}.$$

Notăm cu  $x$  cantitatea de CaO pe care trebuie să o adăugăm și scriind relația pentru noua bazicitate obținem:

$$\frac{174,25+x}{75,75} = 3,5,$$

Rezultă:  $x = 90,8 \text{ kg CaO}$ .

Deoarece varul conține 85 % CaO, cantitatea de var introdusă este:

$$\frac{90,8}{0,85} = 106,8 \text{ kg var}.$$

2.7. Din încălzirea metalică și din alte surse trece în zgură o cantitate de 2 kg SiO<sub>2</sub> la 100 kg încălzitură. Se se determine cantitatea de calcar ce trebuie introdusă în încălzitură pentru ca zgura să aibă bazicitatea de 1,8. Calcarul conține 51% CaO și 3,5 % SiO<sub>2</sub>.

Rezolvare:

Bazicitatea zgurei este:

$$B = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$$



Se notează cu  $x$  cantitatea de calcar în kg/100 kg încărcătură.

Rezultă:

$$\text{SiO}_2 = 2,0 + \frac{2,5}{100} x ;$$

Deci

$$B = \frac{0,51 x}{2 + \frac{2,5}{100} x} = 1,8.$$

Rezultă  $x = 8,054$  kg calcar/100 kg încărcătură.

2.8. Să se calculeze cantitatea de spărturi electrozi ce trebuie introdusă în încărcături unui cuptor electric cu arc la elaborarea unui oțel carbon OT 550-3 și conținutul de Si, Mn, P, S la sfârșitul perioadei de topire, știind că topirea are loc cu oxidare parțială.

Elaborarea se face într-un cuptor electric cu capacitatea de 5 t, componentele încărcăturii fiind următoarele:

- 70% gutaje de oțel cu compoziția: C = 0,4%, Si = 0,3%, Mn = 0,50%, P = 0,05%, S = 0,05%;
- 30% deșeuri proprii cu compoziția: C = 0,35%; Si = 0,35%, Mn = 0,60%, S = 0,04%, P = 0,04%;
- spărturi de electrozi cu C = 85% și grad de asimilare 60%.

Rezolvare:

Pentru stabilirea conținutului de carbon al încărcăturii se aplică relația:

$$\langle C \rangle = \frac{[C]_t}{1 - a_c},$$

unde:  $a_c$  - arderea carbonului în perioada de topire,  $a_c = 20\%$ ;

$[C]_t$  - conținutul de carbon la sfârșitul topirii;

$$[C]_t = [C]_o + [C]_a.$$

unde:  $[C]_o$  - conținutul de carbon la oprirea afinării, pentru OT550:

$[C]_o = 0,35\%$ , limita inferioară a mărcii;

$[C]_a$  - carbonul ars în perioada de afinare,

$[C]_a = 0,2 - 0,6\%$ ; alegem:  $[C]_a = 0,4\%$ ;

$$[C]_t = 0,35 + 0,4 = 0,75\%.$$



$$\langle C \rangle = \frac{0,70}{1-0,2} = 0,94 \%$$

$$\langle C \rangle = \langle C \rangle_{\text{autaje}} + \langle C \rangle_{\text{degeuri}} + \langle C \rangle_{\text{spărturi}};$$

$$\langle C \rangle_{\text{autaje}} = \frac{70}{100} \cdot 0,4 = 0,28 \%;$$

$$\langle C \rangle_{\text{degeuri}} = \frac{30}{100} \cdot 0,35 = 0,105 \%;$$

$$\langle C \rangle_{\text{spărturi}} = 0,94 - 0,28 - 0,07 = 0,555 \%;$$

Cantitatea necesară de spărturi de electrozi este :

$$G_{\text{sp}} = \frac{0,555}{0,85 \cdot 0,6} = 1,10 \text{ kg / 100 kg încărcătură}.$$

Metoda de topire cu oxidare parțială, prin oxigenul adus de încărcătură și cel primit din atmosfera cuptorului asigură oxidarea a 80% Si, 50%Mn, 60%P, 2%Fe. Conținutul de sulf rămâne constant :

$$-[Si]_t = \langle Si \rangle (1 - a_{Si});$$

$$\langle Si \rangle = \frac{70}{100} \cdot 0,3 + \frac{30}{100} \cdot 0,35 = 0,315 \%;$$

$$[Si]_t = 0,315 (1 - 0,8) = 0,063\%.$$

$$-[Mn]_t = \langle Mn \rangle (1 - a_{Mn});$$

$$\langle Mn \rangle = \frac{70}{100} \cdot 0,5 + \frac{30}{100} \cdot 0,6 = 0,53 \%;$$

$$[Mn]_t = 0,53(1-0,5) = 0,265\%.$$

$$-[P]_t = \langle P \rangle (1 - a_P);$$

$$\langle P \rangle = \frac{70}{100} \cdot 0,05 + \frac{30}{100} \cdot 0,04 = 0,047 \%;$$

$$[P]_t = 0,047(1-0,6) = 0,019\%.$$

$$-[S]_t = \langle S \rangle;$$

$$[S]_t = \frac{70}{100} \cdot 0,05 + \frac{30}{100} \cdot 0,04 = 0,047\%.$$



Cantitățile de material din încărcătură vor fi următoarele:

- sutaje de oțel . . . . . 3500 kg ;
- dege uri proprii . . . . . 1500 kg ;
- spărturi electrozi . . . . . 55 kg ;

\*

2.9.Să se determine cantitatea de praf de cocs ce trebuie introdusă în încărcătura unui cuptor electric bazic cu arc la elaborarea unui OT 500-1 prin metoda de topire cu oxidare parțială. Incărcătura metalică este formată din 90% fier vechi cu un conținut de carbon de 0,15% și 10% fontă cu un conținut de carbon 3,8%. Conținutul de carbon al prafului de cocs este 90% , iar gradul de asimilare 60%.

Rezolvare:

Conținutul de carbon necesar în încărcătură este:

$$\langle C \rangle = \frac{[C]_t}{1 - a_c} ,$$

$$[C]_t = [C]_o + [C]_a ,$$

unde:

$[C]_t$  -- conținutul de carbon la sfîrșitul topirii;

$[C]_o$  -- conținutul de carbon la sfîrșitul afinării;

$[C]_a$  -- carbonul oxidat în perioada de afinare;

$a_c$  -- arderea carbonului în perioada de topire.

Pentru OT 500 :  $[C]_o = 0,3$ .

Pentru determinarea carbonului oxidat în perioada de afinare se are în vedere că subperioada de fierbere intensă cu minereu, durează 40 minute cu o viteză de decarburare de 0,45% C/h și subperioada de fierbere liniștită, fără minereu, durează 20 minute cu o viteză de decarburare de 0,20% C/h:

$$[C]_a = \frac{40}{60} \cdot 0,45 + \frac{20}{60} \cdot 0,20 = 0,37\% ;$$

$$[C]_t = 0,3 + 0,37 = 0,67 \% .$$

$$\langle C \rangle = \frac{0,67}{1 - 0,2} = 0,84\% .$$

$$\langle C \rangle = \langle C \rangle_{\text{fier vechi}} + \langle C \rangle_{\text{fontă}} + \langle C \rangle_{\text{praf cocs}} ;$$



$$\langle C \rangle_{\text{fier vechi}} = \frac{90}{100} \cdot 0,15 = 0,14\%;$$

$$\langle C \rangle_{\text{fontă}} = \frac{10}{100} \cdot 3,8 = 0,38\%.$$

Carbonul adus de praful de cocs :

$$\langle C \rangle_{\text{praf cocs}} = 0,84 - 0,14 - 0,38 = 0,32\%.$$

Cantitatea de praf de cocs necesară în încălzătură va fi:

$$G_{\text{coals}} = \frac{0,32}{0,90 \cdot 0,60} = 0,59 \text{ kg/100 kg încălzătură}.$$

\*

2.40. Să se calculeze cantitatea de minereu de fier ce trebuie adăugată în perioada de fierbere intensă într-un cuptor electric cu arc de 5 t în vederea micșorării conținutului de carbon de la 0,90% la 0,55%.

Minereul de fier conține 55% Fe sub formă de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Rezolvare:

La afinare, elementul principal care se oxidează este carbonul conform reacției:



Cantitatea de oxigen necesară procesului de decarburare se determină astfel :

1,2 kg C . . . . .	16 kg $\text{O}_2$
0,35 kg C . . . . .	x

---


$$x = 0,47 \text{ kg } \text{O}_2 / 100 \text{ kg}.$$

Deoarece minereul conține 55% Fe, cantitatea de oxigen din minereu este:

112 kg Fe . . . . .	48 kg $\text{O}_2$
52 kg Fe . . . . .	x

---


$$x = 23,57 \text{ kg } \text{O}_2 / 100 \text{ kg minereu}.$$

Cantitatea de minereu necesară este

23,57 kg $\text{O}_2$ . . . . .	100 kg minereu
0,47 kg $\text{O}_2$ . . . . .	x

---


$$x = 1,99 \text{ kg minereu / 100 kg}.$$



Deoarece cuptorul are o capacitate de 5 t , cantitatea totală de minereu este:

$$G_{\min} = 50 \cdot 1,99 = 99,5 \text{ kg minereu.}$$

2.11. Să se calculeze cantitatea de oxigen necesară oxidării carbonului de la 0,80% la 0,45% în perioada de fierbere intensă prin însuflarea de oxigen într-un cuptor electric bazic cu o capacitate de 5 t.

Rezolvare:

Reacția care are loc în perioada de fierbere intensă este următoarea:



Cantitatea de carbon care trebuie îndepărtată din baie, este:

$$[C]_a = 0,80 - 0,45 = 0,35\%.$$

Cantitatea de oxigen necesară este:

$$G'_{O_2} = 0,35 \cdot \frac{16}{12} = 0,47 \text{ kg } O_2 / 100 \text{ kg.}$$

Deoarece cuptorul are capacitatea de 5 t , cantitatea totală de oxigen necesară este :

$$G_{O_2} = 50 \cdot 0,47 = 23,5 \text{ kg } O_2.$$

2.12. La afinare cu oxigen a oțelului într-un cuptor electric cu arc se oxidează 0,4% C , 0,1% Si, 0,1% Mn, 0,05% P. Să se determine ce cantitate de oxigen în m<sup>3</sup> N/t , este necesară pentru oxidarea acestor elemente. Puriitatea oxigenului este de 96% iar pierderile de oxigen sînt de 5%.

Se cunosc masele atomice :  $M_C = 12$ ,  $M_{Si} = 28$ ,  $M_{Mn} = 55$ ,  $M_P = 31$ .

Rezolvare:

Rezultatele calculelor pentru determinarea cantității de oxigen necesară oxidării elementelor în perioada de afinare se prezintă în tabelul 2.4.

Calculul cantitatii de oxigen necesară în perioada de afinare

Element oxidat	Reacția de oxidare	Cantitatea oxidată [kg]	Oxigenul necesar	
			[kg/t oțel]	[m <sup>3</sup> N/t oțel]
C	$C + \frac{1}{2} O_2 = \{CO\}$	0,4	$0,4 \times 10 \frac{16}{12} = 5,33$	$\frac{5,33}{32} \cdot 22,4 = 3,73$
Si	$Si + O_2 = (SiO_2)$	0,1	$0,1 \times 10 \frac{37}{28} = 1,14$	$\frac{1,14}{32} \cdot 22,4 = 0,80$
Mn	$Mn + \frac{1}{2} O_2 = (MnO)$	0,1	$0,1 \times 10 \frac{16}{55} = 0,29$	$\frac{0,29}{32} \cdot 22,4 = 0,20$
P	$2P + \frac{5}{2} O_2 = (P_2O_5)$	0,05	$0,05 \times 10 \frac{80}{62} = 0,64$	$\frac{0,64}{32} \cdot 22,4 = 0,45$
		Total	7,4	5,18

Cantitatea de oxigen tehnic necesară va fi:

$$\frac{5,18}{0,96 \cdot 0,95} = 5,68 \text{ m}^3\text{N/t oțel}.$$

\*

2.13. La elaborarea unui oțel carbon într-un cuptor electric de 5 tone, la sfârșitul perioadei de topire s-a rupt o bucată de electrod, în greutate de 10 kg care a căzut în baia metalică. Se se determine cantitatea de oxigen necesară, în m<sup>3</sup>N, pentru a se înlătura excesul de carbon. Se consideră conținutul de carbon al electrodului C = 90% și gradul de asimilare în baia metalică 60%.

Rezolvare:

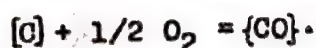
Cantitatea de carbon care se dizolvă în baia de oțel datorită rupei electrodului este :

$$G = 10 \cdot \frac{90}{100} \cdot \frac{60}{100} = 5,4 \text{ kg C.}$$

Conținutul de carbon al băii metalice va crește cu:

$$\frac{5,4}{50} = 0,108\% \text{ C.}$$

La afinare, în urma însuflării de oxigen, are loc reacția

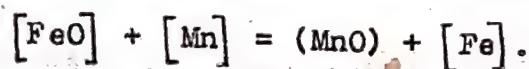




2.46. Să se calculeze cantitatea de feromangan cu 80% Mn necesară pentru dezoxidarea a 5 t oțel în cuptorul electric bazic și creșterea conținutului de mangan până la 0,6% dacă în momentul deoxidării oțelul conține 0,3% Mn. Arderea manganului este 10 %, iar cantitatea de FeO îndepărtată este de 0,27%. Se cunosc:  $M_{Fe} = 56$  ;  $M_{Mn} = 55$ ,  $M_O = 16$ .

Rezolvare:

Reacția de dezoxidare cu Mn este:



Cantitatea de mangan necesare pentru dezoxidare:

$$Q'_{Mn} = 0,27 \cdot \frac{55}{72} = 0,21 \text{ kg/100 kg.}$$

Cantitatea totală de mangan necesară este :

$$Q'_{Mn} = 0,21 + (0,6 - 0,3) = 0,51 \text{ kg/100 kg.}$$

Cantitatea necesară de feromangan este :

$$Q_{FeMn} = 50 \cdot \frac{0,51}{0,8 \cdot 0,9} = 35,4 \text{ kg FeMn.}$$

\*

2.47. Ce cantitate de  $SiO_2$  se formează la dezoxidarea cu siliciu a 5t oțel ce conține 0,0250%  $O_2$  dacă se dorește micșorarea conținutului de oxigen până la 0,008 %  $O_2$ . Se cunosc :  $M_{Si} = 28$ ,  $M_O = 16$ .

Rezolvare:

Reacția de dezoxidare cu Si este:



Cantitatea de oxigen care se elimină din baie sub formă de  $SiO_2$  va fi :

$$Q_{SiO_2} = 50 \cdot (0,025 - 0,008) \cdot \frac{60}{32} = 1,593 \text{ kg } SiO_2.$$

2.18. Să se calculeze conținutul de oxigen din baia metalică de oțel, știindu-se că zgura conține 0,65% FeO și că raportul de repartiție al oxidului feros la temperatura de 1600°C este  $L_{FeO} = 82$ .

Rezolvare:

La dezoxidarea prin difuzie între baia metalică și zgură se stabilește în final un echilibru, care conduce la o repartiție a oxigenului între acestea, caracterizat prin raportul de repartiție:

$$L_{FeO} = \frac{(FeO)}{[FeO]}$$

$$[FeO] = \frac{(FeO)}{L_{FeO}} = \frac{0,65}{82} = 0,00793 \%$$

ceea ce corespunde la un conținut de oxigen :

$$[O] = \frac{M_{Fe}}{M_{FeO}} [FeO] = \frac{16}{72} \cdot 0,00793 = 0,00176\%$$

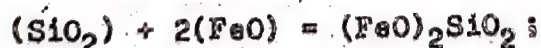
În condiții practice asemenea conținuturi de oxigen în oțelul lichid nu se ating deoarece procesul de dezoxidare ar dura foarte mult. De aceea se întrerupe dezoxidarea prin difuziune și pentru completarea dezoxidării se face și dezoxidarea prin precipitare.

2.19. Să se determine cantitatea de var cu 93% CaO care trebuie aruncat pe zgura unui cuptor electric acid cu arc pentru a crește conținutul de FeO liber din zgură cu 1,5%.

Se cunosc:  $M_{Fe} = 56$  ,  $M_{Ca} = 40$ .

Rezolvare:

Reacțiile care au loc sînt următoarele:



Pe baza acestor reacții se determină cantitatea de oxid de calciu:

$$q_{CaO} = 1,5 \frac{M_{CaO}}{M_{FeO}} = 1,5 \cdot \frac{56}{72} = 1,17 \text{ kg CaO/100 kg zgură,}$$

Cantitatea de var va fi:

$$q_{var} = \frac{1,17}{0,93} = 1,26 \text{ kg/100 kg zgură}$$



2.20. Să se calculeze cantitatea de  $\text{SiO}_2$  consumată din zidărie și zgura unui cuptor electric acid de 3 t capacitate, știindu-se că în perioada de regenerare a siliciului conținutul acestuia în baia metalică a crescut de la 0,07 la 0,27%. Se cunoaște:  $M_{\text{Si}} = 28$ .

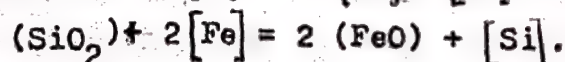
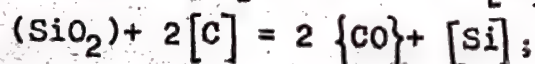
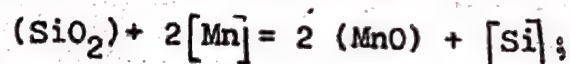
Rezolvare:

La elaborarea oțelului în cuptoare electrice acide au loc două procese:

- oxidarea siliciului datorită prezenței  $\text{FeO}$  în zgură;
- regenerarea siliciului din  $\text{SiO}_2$  din zgură și vatră:

Conținutul de siliciu din oțelul lichid este determinat de cele două procese.

Regenerarea are loc prin intermediul carbonului, manganului și a fierului, la temperaturi ridicate, când zgura formată este saturată cu  $\text{SiO}_2$ :



Cantitatea de siliciu regenerată:

$$0,27 - 0,07 = 0,20 \text{ kg/100 kg.}$$

Pe baza reacțiilor care au loc se determină cantitatea de  $\text{SiO}_2$  consumată:

$$q_{\text{SiO}_2} = 0,20 \cdot \frac{M_{\text{SiO}_2}}{M_{\text{Si}}} = 0,20 \cdot \frac{60}{28} = 0,4286 \text{ kg/100 kg};$$

$$Q_{\text{SiO}_2} = 30 \cdot 0,4286 = 12,86 \text{ kg SiO}_2.$$

\*

2.21. Să se determine cantitatea de ferosiliciu 75% și aluminiu necesară pentru dezoxidarea unui OT 400 până la un conținut de oxigen de 0,005%. Pierderile de siliciu și aluminiu sînt de 15% și respectiv 20%.

Rezolvare:

La sfîrșitul elaborării compoziția chimică a oțelului lichid trebuie să fie:

$$C = 0,40 - 0,50\%$$

$$Si = 0,25 - 0,50\%$$

$$Mn = 0,40 - 0,80\%$$

$$S = 0,045\%$$

$$P = 0,045\%$$

Conținutul de aluminiu va fi de minimum 0,035%.

Conținutul de oxigen la sfîrșitul afinării se poate aprecia pe baza conținutului de carbon cu relația:

$$[O]_0 = \frac{0,0036 + 0,0033[C]_0}{[C]_0} [\%],$$

unde :  $[C]_0$  - conținutul de carbon al băii metalice la sfîrșitul afinării,  $[C]_0 = 0,40\%$ ;

$$[O]_0 = \frac{0,0036 + 0,0033 \cdot 0,40}{0,4} = 0,0123\%.$$

Alegem conținutul de siliciu al oțelului lichid la sfîrșitul elaborării 0,30%.

La 1600°C conținutul de oxigen în echilibru cu cel de siliciu este de  $\approx 0,003\%$ .

Cantitatea de oxigen îndepărtată:

$$0,0123 - 0,003 = 0,0093 \text{ kg/100 kg}.$$

Cantitatea de siliciu necesară pentru dezoxidare:

$$0,0093 \frac{M_{Si}}{2M_O} = 0,0093 \frac{28}{32} = 0,0081 \text{ kg/100 kg}.$$

Cantitatea de siliciu necesară pentru aliere:

$$0,30 - [Si]_0 = 0,30 \text{ kg/100 kg}.$$

Cantitatea de siliciu pentru aliere și dezoxidare va fi:

$$q_{Si} = 0,30 + 0,0081 = 0,3081 \text{ kg/100 kg},$$

ceea ce duce la un necesar de ferosiliciu:

$$Q_{FeSi} = \frac{0,3081}{0,75 \cdot 0,85} = 0,477 \text{ kg FeSi/100 kg}.$$

Conținutul de oxigen în echilibru cu 0,035 aluminiu la 1600°C este de 0,003%.

Cantitatea de oxigen care trebuie îndepărtată cu aluminu este:

$$0,0093 - 0,003 = 0,0063 \text{ kg/100 kg}.$$



Cantitatea de aluminiu necesară pentru dezoxidare va fi:

$$0,005 \cdot \frac{54}{48} = 0,0056 \text{ kg Al.}$$

Necesarul de Al pentru dezoxidare și aliere este:

$$q_{Al} = 0,0056 + 0,035 = 0,0406 \text{ kgAl/100 kg.}$$

Cantitatea de Al introdusă în baie este:

$$Q_{Al} = 0,0406 \cdot \frac{1}{0,8} = 0,05 \text{ kgAl/100 kg.}$$

\*

2.22. În cursul dezoxidării prin difuziune la un cuptor electric bazic zgura carbhidică conține 0,7% FeO. Să se determine raportul de repartiție  $L_{FeO}$ , dacă conținutul de oxigen în oțel este  $[O] = 0,00194 \%$ .

Rezolvare:

Cantitatea de oxid feros din baie corespunzătoare conținutului de oxigen este:

$$[FeO] = [O] \frac{M_{FeO}}{M_O} = 0,00194 \cdot \frac{72}{16} = 0,00873 \%$$

Raportul de repartiție  $L_{FeO}$  va fi:

$$L_{FeO} = \frac{(FeO)}{[FeO]} = \frac{0,7}{0,00873} = 80$$

\*

2.23. Să se determine cantitatea de spărturi de electrozi pe care trebuie să o conțină încărcătura unui cuptor electric cu arc la elaborarea unui OT 450-3 cu carbonul egal cu limita inferioară a mărcii prin metoda de topire cu oxidare parțială dacă dezoxidarea oțelului se face cu zgură albă timp de 55 min. Elaborarea are loc într-un cuptor electric de 3 t și se folosește fier vechi cu 0,25% C. Conținutul de carbon al spărturilor este de 0,85% și gradul de asimilare 60%.

Rezolvare:

Conform STAS 600-82, conținutul de carbon pentru OT 450 este:  $C = 0,20-0,30\%$ .

$$\langle C \rangle = \frac{[C]_t}{1 - a_0},$$

$$[C]_t = [C]_0 + [C]_a.$$

Pentru un cuplor electric bazic :  $[C]_a = 0,2...0,6\%$ .  
Alegem  $[C]_a = 0,4\%$ .

În perioada de dezoxidare sub zgură albă are loc o carburare a băii metalice cu circa  $0,02\%$  C/h, care poate fi considerată ca medie pe toată durata de menținere sub zgura albă.

La oprirea afinării  $[C]_0$  trebuie să fie mai mic decât conținutul de carbon prescris cu conținutul de carbon care trece în baia metalică în timpul dezoxidării sub zgură albă:

$$[C]_0 = 0,2 - \frac{55}{60} \cdot 0,02 = 0,182 \%$$

$$[C]_t = 0,182 + 0,4 = 0,582;$$

$$\langle C \rangle = \frac{0,582}{1 - \frac{20}{100}} = 0,728 \% C.$$

Cantitatea de carbon pe care trebuie să o introducă spărturile de electrozi în încărcătură :

$0,728 - 0,250 = 0,478 \text{ kg /100 kg încărcătură ,}$   
de unde:

$$G_{\text{sp.el.}} = \frac{0,478}{0,85 \cdot 0,60} \cdot 30 = 28,1 \text{ kg .}$$

2.24. Să se determine conținutul de oxigen al unei băi de oțel lichid aflat în echilibru cu  $0,35\%$  Si. Dezoxidarea oțelului se face cu ferosiliciu la temperatura de  $1600^\circ\text{C}$  și se consideră că produsul de dezoxidare este dioxidul de siliciu pur. Se consideră soluția de oxigen și siliciu în fier infinit diluată.

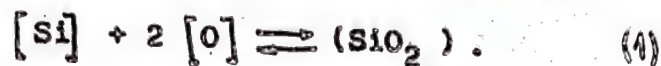
Rezolvare:

Studiul termodinamic al dezoxidării cu siliciu s-a efectuat pe baza reacției:





Deoarece determinările directe ale conținuturilor foarte mici în soluție de  $\text{SiO}_2$  și  $\text{FeO}$  sînt imprecise se are în vedere studiul echilibrului pe baza reacției de oxidare a siliciului lichid cu oxigen gazos în sistemul  $\text{Fe-Si-O}$ :



Cantitatea de echilibru a reacției este:

$$K_p = \frac{a(\text{SiO}_2)}{a_{[\text{O}]}^2 a_{[\text{Si}]}}$$

Activitatea conform legii lui Henry este direct proporțională cu concentrația:

$$a_x = f_x [\% x]$$

$$K_p = \frac{a(\text{SiO}_2)}{f_{[\text{O}]}^2 [\% \text{O}]^2 \cdot f_{[\text{Si}]} [\% \text{Si}]}$$

Produsul de dezoxidare fiind bioxid de siliciu pur:

$$a(\text{SiO}_2) = 1.$$

Deoarece soluția de oxigen și siliciu în fier este infinit diluată:  $f_{[\text{Si}]} = 1$ ,  $f_{[\text{O}]} = 1$ .

Se obține:

$$K_p = \frac{1}{[\% \text{O}]^2 \cdot [\% \text{Si}]}$$

Pentru reacția (1) valoarea lui  $K_p$  este dată de relația:

$$\log K_p = \frac{30410}{T} - 11,56.$$

$$\log K_p = \frac{30410}{1873} - 11,56 = 4,68,$$

$$K_p = 4,36 \cdot 10^4.$$

Conținutul de oxigen în echilibru cu 0,35% Si va fi:

$$[\text{O}] = \sqrt{\frac{1}{K_p [\% \text{Si}]}} = \sqrt{\frac{1}{4,36 \cdot 10^4 \cdot 0,35}}$$

$$[\text{O}] = 0,002 \%$$

2.25. Să se determine dacă este posibilă dezoxidarea unui oțel carbon cu aluminiu la temperatura de  $1600^{\circ}\text{C}$ .

Rezolvare:

Studiul termodinamic al dezoxidării cu aluminiu se bazează pe echilibrul reacției aluminului lichid cu oxigenul gazos:



Pentru ca reacția de dezoxidare să fie posibilă trebuie ca entalpia liberă de formare a oxidului de aluminiu la temperatura de elaborare să fie negativă.

Pentru calculul entalpiei libere de formare vom folosi relația:

$$\Delta G_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 401500 + 76,91 T \quad [\text{cal}]$$

$$\Delta G_{\text{Al}_2\text{O}_3} = -401500 + 76,91 \cdot 1873 = -257447,5 \text{ cal}$$

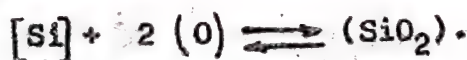
Deoarece  $\Delta G < 0$  dezoxidarea oțelului la temperatura de  $1600^{\circ}\text{C}$  poate avea loc.

\*

2.26. Să se determine cantitatea de ferosiliciu 75% necesară pentru dezoxidarea unui OT 500-2 într-un CEB cu arc, conținutul de oxigen al băii la oprirea afinării fiind de 0,04%. Conținutul de oxigen al băii la sfîrșitul dezoxidării trebuie să fie 0,008%. Se consideră că zgura este saturată în  $\text{SiO}_2$ , soluția de oxigen și siliciu în fier infinit diluată, temperatura de lucru  $1600^{\circ}\text{C}$ .

Rezolvare:

Reacția de dezoxidare cu siliciu:



Cantitatea de oxigen care trebuie îndepărtată din baia de dezoxidare :

$$0,04 - 0,008 = 0,032\%$$

Cantitatea de siliciu necesară pentru îndepărtarea oxigenului:

$$\text{Si}_0 = 0,032 \cdot \frac{28}{32} = 0,028\%$$



Conținutul de siliciu care rămâne în oțel în echilibru cu 0,008% oxigen, rezultă din expresia:

$$K_p = \frac{a(\text{SiO}_2)}{a_{\text{O}}^2 a_{\text{Si}}};$$

$$K_p = \frac{a(\text{SiO}_2)}{f_{\text{O}}^2 [\% \text{O}]^2 \cdot f_{\text{Si}} [\% \text{Si}]}$$

Deoarece zgura este saturată cu  $\text{SiO}_2$ ,  $a_{\text{SiO}_2} = 1$  și soluția de oxigen și siliciu în fier este infinit diluată,  $f_{\text{O}} = 1$ ,  $f_{\text{Si}} = 1$ , expresia constantei de echilibru a reacției devine:

$$K_p = \frac{1}{[\% \text{O}]^2 \cdot [\% \text{Si}]},$$

unde:

$$\log K_p = \frac{30410}{T} - 11,56.$$

$$\log K_p = 4,68, \Rightarrow K_p = 4,36 \cdot 10^4.$$

În aceste condiții:

$$[\% \text{Si}] = \frac{1}{K_p [\% \text{O}]^2},$$

$$[\text{Si}] = \frac{1}{4,36 \cdot 10^4 \cdot [0,008]^2} = 0,358\%.$$

Cantitatea de siliciu necesară pentru deoxidare este:

$$\text{Si} = 0,0048 + 0,358 = 0,3598\%$$

Cantitatea de ferosiliciu cu 75% Si considerând 20% pierderi:

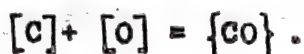
$$\frac{0,3598}{0,75 \cdot 0,8} = 0,580 \text{ kg/100 kg oțel}$$

2.27. Să se determine conținutul de oxigen în echilibru cu 0,15% C, în urma deoxidării în vid la  $p_{\text{Co}} = 0,250 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$  a unui OT 400. Temperatura băii metalice este de  $1600^\circ\text{C}$  și se

consideră soluția de carbon și oxigen în fier infinit diluată.

Rezolvare:

Dezoxidarea în vid urmărește transferul oxigenului dizolvat în baia metalică, în faza gazoasă, pe baza reacției de auto-dezoxidare cu carbon:



Constanta de echilibru a reacției este dată de relația

$$K = \frac{P_{CO}}{a_{[O]} \cdot a_{[C]}},$$

sau

$$K = \frac{P_{CO}}{f_{[O]} [\% O] \cdot f_{[C]} [\% C]},$$

unde:  $f_{[C]}$ ,  $f_{[O]}$  - coeficienții de activitate ai oxigenului și carbonului dizolvate în oțel. Deoarece avem o soluție infinit diluată  $f_{[C]} = 1$  și  $f_{[O]} = 1$ .

Din această relație se obține conținutul de oxigen la echilibru ca fiind:

$$[\% O] = \frac{P_{CO}}{K [\% C]}.$$

Calculul constantei  $K$  se poate face cu relația:

$$\log K = + \frac{1056}{T} + 2,131.$$

$$\log K = \frac{1056}{1873} + 2,131 = 2,695 \Rightarrow K = 495.$$

Conținutul de oxigen din oțel în urma tratării lui în vid este:

$$[\% O] = \frac{0,250 \cdot 10^4 \cdot 10^{-5}}{495 \cdot 0,15} = 0,0003\%.$$

$$1 \text{ N/m}^2 = 10^{-5} \text{ at.}$$

### Concluzii

S-a constatat practic că la presiuni scăzute carbonul devine un dezoxidant mai eficient decât manganul, siliciul și chiar alumiul.

În urma dezoxidării în vid, oțelul nu va conține incluziuni



$\text{Al}_2\text{O}_3$  sau  $\text{SiO}_2$  dacă oțelul se dezoxidează cu aluminiu sau siliciu.

În condiții practice acest conținut de oxigen nu se obține datorită reoxidării oțelului de către căptușeală refractară în atmosferă.

\*

2.28. Se consideră un oțel dezoxidat cu aluminiu care conține 70 ppm oxigen total. A analiza efectuată privind natura și mărimea incluziunilor formate a arătat că ele constau din particule de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  cu o rază medie egală cu  $25 \cdot 10^{-4}$  mm. Să se calculeze numărul de particule de  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{cm}^3$  formate în oțel după solidificare:

Se cunosc  $M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 102$ ;  $\rho_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 4 \text{ g/cm}^3$ ;  $\rho_{\text{oțel}} = 7,8 \text{ g/cm}^3$

Rezolvare:

Se calculează cantitatea de oxigen dintr-un  $\text{cm}^3$  de oțel:

$$70 \cdot 10^{-6} \cdot 7,8 = 5,46 \cdot 10^{-4} \text{ g oxigen.}$$

Cantitatea de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dintr-un  $\text{cm}^3$  de oțel este:

$$\frac{102}{48} \cdot 5,46 \cdot 10^{-4} = 11,6 \cdot 10^{-4} \text{ g Al}_2\text{O}_3/\text{cm}^3.$$

Volumul ocupat de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dintr-un  $\text{cm}^3$  de oțel este:

$$V = \frac{11,6 \cdot 10^{-4}}{4} = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^3 \text{ Al}_2\text{O}_3/\text{cm}^3 \text{ oțel.}$$

Dacă notăm cu "n" numărul mediu de incluziuni/ $\text{cm}^3$  oțel, cu raza  $r = 2,5 \cdot 10^{-4}$  mm se poate scrie:

$$2,9 \cdot 10^{-4} = n \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (2,5 \cdot 10^{-5})^3,$$

de unde  $n = 4,43 \cdot 10^9$  particule / $\text{cm}^3$  oțel.

\*

2.29. Să se determine conținutul de azot dizolvat în oțelul lichid, la temperatura de  $1600^\circ\text{C}$ , dacă în urma tratării în vid la aceeași temperatură și  $P_{\text{N}_2} = 0,0386 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$  conținutul de azot din oțel este  $0,0025\%$ .

Rezolvare

În figura 2.3. se prezintă solubilitatea azotului în fierul pur la presiunea de 1 at =  $9,81 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ .

Datorită micșorării solubilității azotului la temperatura

de solidificare a fierului pur , la solidificarea oțelului se vor forma sufluri sau incluziuni.

În oțelul lichid azotul se dizolvă sub formă atomică , conform reacției:

$$\frac{1}{2} \{N_2\} = [N] . \quad (1)$$

$$\log K_N = -\frac{188,1}{T} - 1,246 ; \quad K_N = f(T) . \quad (2)$$

În cazul oțelurilor nealiate dizolvarea are loc conform legii lui Sievert:

$$[\% N] = K_N \sqrt{P_{N_2}} . \quad (3)$$

Degazarea în vid asigură obținerea unor oțeluri cu conținuturi foarte scăzute de gaze prin tratarea oțelului într-un spațiu cu presiune foarte scăzută și conform legii lui Sievert concentrația gazului în oțel se va micșora proporțional cu rădăcina pătrată a presiunii gazului în atmosfera de deasupra băii.

Din relația (3) se calculează constanta de solubilitate a azotului :

$$K_N = \frac{[\% N]}{\sqrt{P_{N_2}}} = \frac{0,0025}{\sqrt{0,0386 \cdot 10^4}} = 127 \cdot 10^{-6} .$$

Din relația (2) se poate observa dependența de temperatură a constantei de solubilitate. Deoarece tratarea în vid a oțelului are loc la aceeași temperatură, constanta de solubilitate rămâne neschimbată. În aceste condiții se calculează conținutul inițial de azot al oțelului :

$$[N]_0 = K_N \sqrt{P_{N_2}} = 127 \cdot 10^{-6} \sqrt{9,81 \cdot 10^4} = 0,04\% .$$

\*

230.Să se determine cantitatea de energie consumată pentru topirea și supraîncălzirea cu 50°C a 1 t de oțel cu carbon între 0,2-0,4%.

Rezolvare:

Cantitatea de energie teoretică consumată pentru topire

$$Q_{top} = c_1 (T_{top} - T_0) + L , \quad [Kwh/t] ,$$

în care:



- $c_1$  - căldura specifică în stare solidă ( $c_1 = 0,193 \text{ Kwh/t } ^\circ\text{C}$ );  
 $T_{\text{top}}$  - temperatura de topire ( $T_{\text{top}} = 1500^\circ\text{C}$ );  
 $T_0$  - temperatura inițială ( $T_0 = 20^\circ\text{C}$ );  
 $L$  - căldura latentă de topire, ( $L = 79 \text{ Kwh/t}$ ).

$$Q_{\text{top}} = 0,193(1500-20) + 79 = 360 \text{ Kwh/t}.$$

Cantitatea de energie consumată pentru supraîncălzire cu  $50^\circ\text{C}$  este:

$$Q_{\text{sup}} = c_1'(T_{\text{sup}} - T_{\text{top}}) = 0,23 \cdot 50 = 11,5 \text{ Kwh/t},$$

$c_1'$  - căldura specifică a oțelului lichid ( $c_1' = 0,23 \text{ Kwh/t}$ ):

Cantitatea de energie consumată pentru topirea zgurei, știind că  $c_3 = 0,325 \text{ Kwh/t } ^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{top zg}} = 1560^\circ\text{C}$ ;  $L_{\text{zg}} = 58 \text{ Kwh/t}$

$$Q'_{\text{zg}} = c_3(T_{\text{top.zg}} - T_0) + L_{\text{zg}} = 0,325(1560-20) + 58 = 558 \text{ Kwh/t zgură}.$$

Cantitatea de zgură în perioade de topire reprezintă 3... 7%. Dacă se adoptă 5% zgură rezultă:

$$Q_{\text{zg}} = 0,05 Q'_{\text{zg}} = 0,05 \cdot 558 = 28 \text{ Kwh/t oțel}.$$

$$Q = Q_{\text{top}} + Q_{\text{sup}} + Q_{\text{zg}} = 360 + 11,5 + 28 = 399,5 \text{ Kwh/t}.$$

Deci cu aproximație  $Q = 400 \text{ Kwh/t}$ , energia teoretică consumată pentru topirea 1 t de oțel.

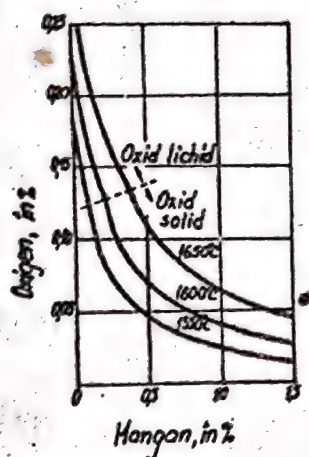


Fig.2.1. Conținutul de mangan și oxigen în echilibru cu  $\text{FeO-MnO}$  lichid sau solid

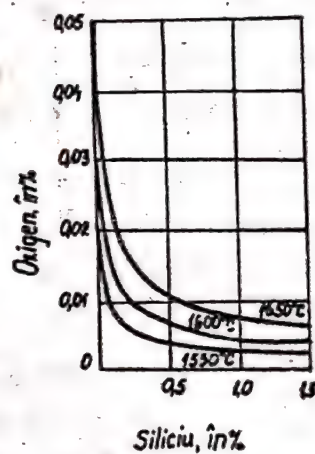


Fig.2.2. Conținutul de siliciu și oxigen al oțelului în echilibru cu silica solidă

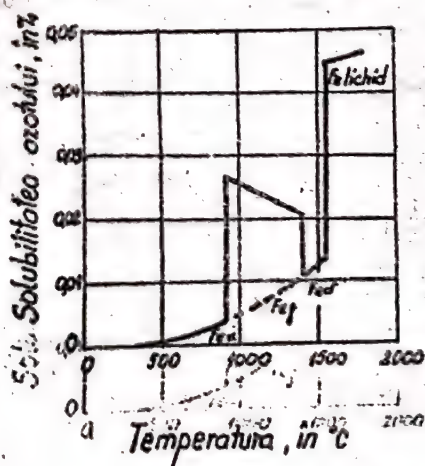


Fig.2.3. Solubilitatea azotului în fier în funcție de temperatură

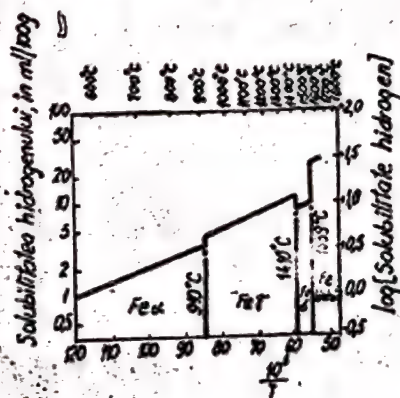


Fig.2.4. Solubilitatea hidrogenului în fier în funcție de temperatură



### CAPITOLUL 3

#### PROCESE FIZICO-CHIMICE CARE ÎNSOTESC SOLIDIFICAREA OTEIURILOR

3.1. Să se determine înălțimea coloanei de oțel lichid necesară pentru învingerea forțelor datorate tensiunii superficiale în cazul curgerii lui într-un canal cu raza de  $1 \cdot 10^{-2}$  m și respectiv în canalele capilare (porii) unui amestec de formare cu granulația de 0,32 mm. Se cunosc:

- tensiunea superficială a oțelului lichid  $\sigma = 1,5 \text{ N/m}$ ;
- unghiul de umectare,  $\varphi = 180^\circ$ ;
- densitatea oțelului lichid  $7000 \text{ kg/m}^3$ .

Rezolvare:

Pentru ca oțelul lichid să poată curge printr-un canal sau pătrunde în porii capilari ai peretelui forme trebuie ca presiunea care acționează asupra lui să fie suficient de mare pentru învingerea tensiunii superficiale, figura 3.1.

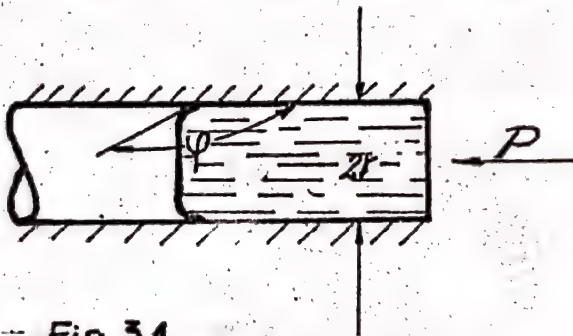


Fig. 3.1.

Pentru a fi posibilă curgerea, la echilibru avem:

$$(\sigma_{Sg} - \sigma_{SL}) 2\pi r = \pi r^2 p$$

dar  $\sigma_{Sg} - \sigma_{SL} = \sigma_{lg} \cos \varphi$   
unde:  $\sigma_{lg}$  - tensiunea interfațială aliaj lichid-gaz;

$\sigma_{SL}$  - tensiunea interfațială solid-aliaj lichid;

$\sigma_{Sg}$  - tensiunea interfațială solid-gaz;

$p$  - presiunea necesară curgerii;

$r$  - raza canalului.

$$\sigma_{lg} \cos \varphi \cdot 2\pi r = \pi r^2 p,$$

$$p = \frac{2 \sigma_{lg} |\cos \varphi|}{r}.$$

$$p = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 1}{1 \cdot 10^{-2}} = 300 \text{ N/m}^2.$$

Presiunea este dată de înălțimea hidrostatică a coloanei de oțel lichid din piciorul pîlniei, adică:

$$p = \rho g h.$$

În acest caz înălțimea necesară învingerii forțelor superficiale este:

$$h = \frac{p}{\rho g} = \frac{300}{7000 \cdot 9,81} = 0,0044 \text{ m} = 4,4 \text{ mm}.$$

Pentru a învinge forțele datorate tensiunii superficiale la curgerea oțelului lichid printr-un canal cu raza de 1 cm va fi suficientă o coloană de oțel de 4,4 mm.

Deoarece la dimensionarea rețelei de turnare înălțimea piciorului de turnare se alege mai mare decât înălțimea piesei în poziția de turnare, rezultă că tensiunea superficială nu influențează dimensiunile piciorului de turnare.

Pentru a determina înălțimea necesară pătrunderii oțelului lichid în porii formeii considerăm trei granule de nisip, ideale sub formă de sferă de rază  $R = 0,32 \text{ mm}$  aflate în contact, figura 3.2. Între ele se poate înscrie un canal capilar, de rază „r”

Centrul canalului capilar, por, cu raza „r” se află în punctul de intersecție a bisectoarelor.

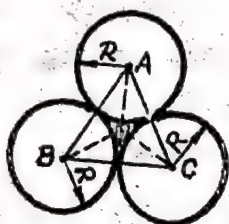


Fig. 3.2.

$$AI^2 = AB^2 - BC^2,$$

$$AI^2 = 4R^2 - R^2 = 3R^2,$$

$$AI = R \sqrt{3}.$$

$$\frac{2}{3} AI = R + r,$$

$$\frac{2}{3} R \sqrt{3} = R + r,$$

$$r = \frac{2}{3} \sqrt{3} R - R = 0,155 R.$$

$$r = 0,155 \cdot 0,32 = 0,0496 \text{ mm}.$$

Presiunea necesară pentru ca oțelul lichid să pătrundă în acest canal, este:

$$p = \frac{2\sigma}{r} = \frac{2 \cdot 1,5}{0,0496 \cdot 10^{-3}} = 60484 \text{ N/m}^2.$$

Înălțimea necesară pentru învingerea forțelor datorate tensiunii superficiale este:

$$h = \frac{p}{\rho g} = \frac{60484}{7000 \cdot 9,81} = 0,881 \text{ m}.$$

Deci pentru ca oțelul lichid să pătrundă în capilarele formeii este necesară o înălțime a coloanei de lichid de 881 mm.

Discuții asupra rolului mărimii de grăunte (R) în formarea aderențelor:



Tabelul 3.1.

R [mm]	0,32	0,35	0,38	0,40
r [mm]	0,0496	0,0543	0,0589	0,062
h [mm]	881	804	741	704

Cu cât raza canalului capilar este mai mică cu atât este necesară o înălțime a coloanei de oțel lichid mai mare pentru a învinge tensiunea superficială și a realiza curgerea.

\*

3.2. Să se determine tensiunea superficială a oțelurilor carbon cu 0,2; 0,4 și 0,5% carbon.

Rezolvare:

Pentru determinarea tensiunii superficiale, în cazul oțelurilor carbon se poate folosi următoarea relație:

$$\sigma = 1,6 - 0,1\% C \text{ [N/m]} .$$

Se recomandă utilizarea relației pentru conținuturi de 0,1...0,5% C, deoarece în acest interval influența elementelor însoțitoare Si, Mn, P, S asupra tensiunii superficiale este mică.

Aplicând relația de mai sus rezultă:

$$C = 0,2\% \Rightarrow \sigma = 1,6 - 0,1 \cdot 0,2 = 1,58 \text{ N/m} .$$

$$C = 0,4\% \Rightarrow \sigma = 1,6 - 0,1 \cdot 0,4 = 1,56 \text{ N/m} .$$

$$C = 0,5\% \Rightarrow \sigma = 1,6 - 0,1 \cdot 0,5 = 1,55 \text{ N/m} .$$

Se poate observa că odată cu creșterea conținutului de carbon valoarea tensiunii superficiale se micșorează.

\*

3.3. Să se calculeze raza minimă a incluziunilor nemetalice care pot ajunge în stratul de zgură, dintr-o baie de oțel cu înălțimea de 900 mm în timp de 60 s. Se cunosc:

- densitatea incluziunii  $\rho_1 = 3000 \text{ kg/m}^3$ ;
- densitatea oțelului  $\rho_{\text{oțel}} = 7000 \text{ kg/m}^3$ ;
- viscozitatea dinamică a oțelului  $\eta = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$ .

Rezolvare:

Asupra particulelor de incluziuni, presupuse sferice, aflate în baia metalică acționează două forțe:

- forța ascensională  $F = \frac{4}{3}\pi g r^3 (\rho_{\text{oțel}} - \rho_{\text{inc}})$ ;

- rezistența mediului  $R = 6\pi r V \eta$ ;

unde:  $V$  - viteza de ascensiune a incluziunilor.

Pentru ca particula de oxid să se poată ridica la suprafața băii metalice trebuie ca  $F \geq R$ .

În acest caz obținem viteza de ascensiune a particulelor:

$$\frac{4}{3}\pi g r^3 (\rho_{\text{oțel}} - \rho_{\text{inc}}) = 6\pi r V \eta;$$

$$V = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho_{\text{oțel}} - \rho_{\text{inc}}}{\eta}.$$

Viteza minimă de deplasare a incluziunilor care se pot separa în baia metalică este:

$$V = \frac{900}{60} = 15 \text{ mm/s}.$$

Raza minimă a particulelor care se pot separa va fi:

$$r = \sqrt{\frac{9 V \eta}{2 g (\rho_{\text{oțel}} - \rho_{\text{i}})}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 0,015 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 9,81 (7000 - 2000)}} = 0,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}.$$

Pentru particulele de diferite dimensiuni aflate la aceeași distanță  $H = 900 \text{ mm}$ , față de suprafața oțelului lichid, distanțele parcurse în timp de 60 s vor fi:

$r \text{ [m]}$	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$0,7 \cdot 10^{-4}$	$0,83 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$
$V \text{ [m/s]}$	$0,545 \cdot 10^{-2}$	$1,068 \cdot 10^{-2}$	$1,500 \cdot 10^{-2}$	$2,180 \cdot 10^{-2}$	$2,18$
$H \text{ [m]}$	$0,327$	$0,641$	$0,900$	$1,308$	$130,8$

Acste valori arată că particulele cu dimensiuni mici se elimină foarte greu din baia metalică, în timp ce cele cu dimensiuni mari se elimină complet. Apare astfel în evidență, importanța coalescenței produselor de dezoxidare, proces în care se formează particule cu raze mari, care se elimină foarte repede din oțelul lichid.

■

3.4. Să se determine presiunea necesară pentru ca o bulă de oxid de carbon cu raza de  $8 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  să iasă la suprafața oțelului lichid turnat într-o piesă cu înălțimea de  $0,2 \text{ m}$  știind că ea apare la înălțimea de  $0,1 \text{ m}$ . Se cunosc:



- tensiunea superficială a oțelului lichid,  $\sigma = 1,5 \text{ N/m}$ ;
- presiunea atmosferică  $P_{at} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ ;
- densitatea oțelului,  $\rho = 7000 \text{ kg/m}^3$ ;
- unghiul de contact,  $\varphi = 180^\circ$ .

Rezolvare:

Un aspect important legat de segregarea carbonului și oxigenului din oțel este cel al formării suflurilor.

Dacă concentrațiile siliciului, manganului sau a altor dezoxidanți sînt suficient de mari, conținutul de oxigen în timpul solidificării va fi scăzut și reacția dintre carbon și oxigen nu are loc deci nu se vor forma sufluri.

În cazul în care reacția are loc presiunea necesară gazei de gaz pentru a nu se forma sufluri endogene este:

$$P_g > P_m + P_c + P_{at}$$

unde:  $P_m$  - presiunea metalului în punctul corespunzător din formă;

$P_c$  - rezistența cauzată de forțele capilare;

$$P_g > \rho g h + \frac{2\sigma / \cos \varphi}{r} + P_{at}.$$

$$P_g > 7000 \cdot 9,81 \cdot 0,1 + \frac{2 \cdot 1,5 / \cos 180^\circ}{8 \cdot 10^{-6}} + 9,81 \cdot 10^4 \approx 48 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2,$$

$$P_g > 4,89 \text{ at.}$$

■

3.5. Care este regimul de curgere a unui oțel carbon printr-un canal circular cu diametrul 60 mm, cunoscînd viteza de curgere 0,5 m/s și viscozitatea dinamică  $3,6 \cdot 10^{-2} \text{ P}$ . Se cunoaște densitatea oțelului lichid  $\rho = 7200 \text{ kg/m}^3$ .

Rezolvare:

Regimul de curgere al aliajelor lichide este stabilit de criteriul Reynolds:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu},$$

unde:  $V$  - viteza medie de deplasare a aliajului pe secțiunea canalului, în m/s;

$d$  - diametrul hidraulic al canalului, în m;

$\nu$  - viscozitatea cinematică a oțelului, în  $\text{m}^2/\text{s}$ .

$$1 \text{ Ns/m}^2 = 10 \text{ P} \Rightarrow \eta = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2.$$

$$\dot{\gamma} = \frac{\eta}{\rho} = \frac{3,6 \cdot 10^{-3}}{7200} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}.$$

$$\text{Re} = \frac{0,5 \cdot 0,06}{5 \cdot 10^{-7}} = 60000.$$

Curgerea oțelului este turbulentă.

π

3.6 Să se calculeze contractia în stare lichidă a oțelului refractar T40SiCr13o știind că se toarnă la un grad de supraîncălzire de 50°C și respectiv 100°C.

Rezolvare:

Unul din factorii care influențează valoarea contracției în stare lichidă la oțeluri este compoziția chimică.

În tabelul 3.2. se prezintă influența conținutului de carbon pentru diferite grade de supraîncălzire asupra contracției în stare lichidă, iar în tabelul 3.3. influența elementelor de aliere.

Tabelul 3.2.

Influența carbonului asupra contracției în stare lichidă

$\Delta t_{si} = t_l - t_0$ [°C]	Contractia în stare lichidă, %				
	0,05% C	0,5% C	1,0% C	1,5% C	2,5% C
50	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6
100	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4
200	1,8	3,05	3,4	4,0	4,8
300	4,4	4,8	5,5	6,0	7,0

Tabelul 3.3.

Influența elementelor de aliere asupra contracției în stare lichidă

Elementul	W	Ni	Mn	Cr	Si	Al
Coefficient de influență pentru 1% element	-0,53	-0,0354	+0,585	+0,12	+1,03	+1,7

Compoziția chimică a oțelului T 40SiCr13o este următoarea: C = 0,3...0,5%; Mn = max 1%; Si = 2...3%; Cr = 12...14%; S = max 0,030%; P = max 0,035%.



$$\Delta T_{S1} = 50^{\circ} \Rightarrow \xi_{V1} = 1 + 1 \cdot 0,585 + 2,5 \cdot 1,03 + 13 \cdot 0,12 = 5,72\%$$

$$\Delta T_{S1} = 100^{\circ} \Rightarrow \xi_{V1} = 1,6 + 1 \cdot 0,585 + 2,5 \cdot 1,03 + 13 \cdot 0,12 = 6,32\%$$

≡

3.7. Să se determine contractia în stare lichidă și la solidificare pentru un oțel carbon cu 0,1% C și respectiv 0,4% C, pe baza următoarelor determinări de volum specific:

- oțel carbon cu 0,1% C -  $T_t = 1600^{\circ}\text{C}$ ;  $V_t = 0,1415 \text{ dm}^3/\text{kg}$ ;  
 $T_1 = 1530^{\circ}\text{C}$ ;  $V_1 = 0,1400 \text{ dm}^3/\text{kg}$ ;  
 $T_s = 1480^{\circ}\text{C}$ ;  $V_s = 0,1362 \text{ dm}^3/\text{kg}$ ;
- oțel carbon cu 0,4% C -  $T_t = 1600^{\circ}\text{C}$ ;  $V_t = 0,1440 \text{ dm}^3/\text{kg}$ ;  
 $T_1 = 1485^{\circ}\text{C}$ ;  $V_1 = 0,1420 \text{ dm}^3/\text{kg}$ ;  
 $T_s = 1375^{\circ}\text{C}$ ;  $V_s = 0,1358 \text{ dm}^3/\text{kg}$ .

Rezolvare:

Contractia în stare lichidă se calculează cu următoarea relație:

$$\xi_1 = \frac{V_t - V_1}{V_1} \cdot 100.$$

$$0,1\% \text{ C} \Rightarrow \xi_1 = \frac{0,1415 - 0,1400}{0,1400} \cdot 100 = 1,071\%.$$

$$0,4\% \text{ C} \Rightarrow \xi_1 = \frac{0,1440 - 0,1420}{0,1420} \cdot 100 = 1,408\%.$$

Similar se determină și contractia la solidificare.

Se poate observa că odată cu creșterea conținutului de carbon se mărește atât contractia în stare lichidă cât și contractia la solidificare.

≡

3.8. Să se analizeze dacă într-o piesă tip tub cu flanșe, turnată din OT500-3, cu următoarele dimensiuni: lungimea 2000 mm; diametrul exterior 150 mm; diametrul flanșelor 300 mm, pot apare grăpături cunoscându-se:

- a) contractia liniară liberă 2%, iar cea frînată 1,9%;
- b) contractia liniară liberă 2%, iar cea frînată 1,8%;
- c) contractia liniară liberă 2%, iar cea frînată 1,7%.

Rezolvare:

Dacă tubul s-ar contracta liber atunci ar apărea o contracție de  $0,02 \cdot 2000 = 40$  mm.

În realitate datorită prezenței flanșelor, va apărea o contracție frînată și tubul se va contracta numai cu:

- a)  $0,019 \cdot 2000 = 38$  mm;
- b)  $0,018 \cdot 2000 = 36$  mm;
- c)  $0,017 \cdot 2000 = 34$  mm.

Tubul va apărea alungit cu:

- a)  $40 - 38 = 2$  mm;
- b)  $40 - 36 = 4$  mm;
- c)  $40 - 34 = 6$  mm.

Alungirea relativă,  $\xi = \frac{\Delta l}{l}$  va fi în cele trei cazuri:

- a)  $\xi = \frac{2}{2000} = 1 \cdot 10^{-3}$  mm/mm;
- b)  $\xi = \frac{4}{2000} = 2 \cdot 10^{-3}$  mm/mm;
- c)  $\xi = \frac{6}{2000} = 3 \cdot 10^{-3}$  mm/mm.

Valoarea tensiunii de contracție se calculează cu relația:

$$\sigma = \xi E.$$

unde: E - modulul de elasticitate al oțelului,  $E = 21000$  daN/mm<sup>2</sup>

- a)  $\sigma = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 21000 = 21$  daN/mm<sup>2</sup>;
- b)  $\sigma = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 21000 = 42$  daN/mm<sup>2</sup>;
- c)  $\sigma = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 21000 = 63$  daN/mm<sup>2</sup>.

În general limita de curgere a oțelurilor carbon netratate este de 50% din rezistența la rupere. Deci pentru OT500-3:

$$R_0 = 0,50 \cdot 50 = 25 \text{ daN/mm}^2.$$

a) Deoarece tensiunea contracției nu depășește limita de curgere, piesa este alungită elastic cu 2 mm. La dezbatere, odată cu cauza care le-a produs, tensiunile dispar, iar piesa va avea dimensiunile prescrise.

b) Deoarece tensiunea de contracție depășește limita de curgere, piesa se va deforma plastic sub efectul tensiunii și va rămâne cu 4 mm mai lungă după dezbatere. Piesa nu va prezenta orăpături.

Dacă piesa se prelucurează pentru a aduce tubul la lungimea prescrisă flanșele vor rămâne mai subțiri cu  $4/2 = 2$  mm.



c) Pentru un OT500,  $R_R = 50 \text{ daN/mm}^2$ , și în acest caz tensiunea de contracție din piesă depășește rezistența la rupere a materialului și în piesă vor apare crăpături.

■

39. Să se calculeze tensiunile care apar în părțile groase și subțiri pentru piesa turnată din OT500 la temperatura de  $1500^\circ\text{C}$ ,

figura 3.3. Se cunosc:

- temperatura de trecere din domeniul plastic în domeniul elastic,  $T_K = 620^\circ\text{C}$ ;
- modulul de elasticitate al oțelului  $E = 21000 \text{ daN/mm}^2$
- $\alpha = 15,6 \cdot 10^{-6}$ .

Rezolvare:

Pentru calculul tensiunilor de turnare se folosesc următoarele relații:

$$\sigma_1 = + \frac{S_2}{S_1 + S_2} E \alpha C_1 C_2 T_K \left[ 1 - \left( \frac{T_K}{T_t} \right)^{\frac{K_2}{K_1} - 1} \right]; \quad (1)$$

$$\sigma_2 = - \frac{S_1}{S_1 + S_2} E \alpha C_1 C_2 T_K \left[ 1 - \left( \frac{T_K}{T_t} \right)^{\frac{K_2}{K_1} - 1} \right]. \quad (2)$$

unde:  $S_1$  - suprafața barei groase, în  $\text{mm}^2$ ;

$S_2$  - suprafața barei subțiri, în  $\text{mm}^2$ ;

$C_1, C_2$  - coeficienți subunitari care țin seama de condițiile de schimb de căldură și de faptul că trecerea din domeniul plastic în domeniul elastic are loc într-un interval de temperaturi. Pentru oțelurile carbon se adoptă  $C_1 = 0,8$  și  $C_2 = 0,7$ ;

$\frac{K_2}{K_1}$  - raport dependent de grosimea echivalentă în relație invers proporțională:

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{R_1}{R_2} \quad (3)$$

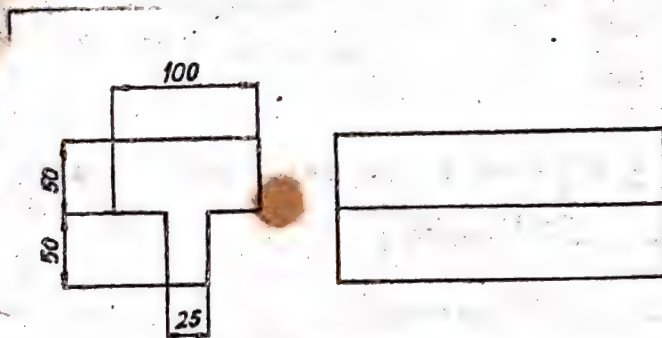


Fig. 3.3.

Grosimea echivalentă se poate calcula cu relația:

$$R = \frac{V}{S}$$

Pe baza relațiilor pentru calculul volumului și suprafeței la barele de lungime  $l$  și pentru calculul perimetrului liber  $P_l$ :

$$\left. \begin{array}{l} V = S \cdot l; \\ S = P_l \cdot l; \end{array} \right\} \Rightarrow R = \frac{S \cdot l}{P_l \cdot l} = \frac{S}{P_l} \quad (4)$$

Înlocuind în relația (3) valorile pentru cele două grosimi echivalente obținute cu relația (4) rezultă:

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{\frac{S_1}{P_{l_1}}}{\frac{S_2}{P_{l_2}}}.$$

$$S_1 = 50 \times 100 = 5000 \text{ mm}^2;$$

$$S_2 = 50 \times 25 = 1250 \text{ mm}^2;$$

$$P_{l_2} = 50 + 50 + 25 = 125 \text{ mm};$$

$$P_{l_1} = 100 + 50 + 50 + (100 - 25) = 275 \text{ mm};$$

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{\frac{5000}{275}}{\frac{1250}{125}} = \frac{18,15}{10} = 1,815.$$

$$\sigma_1 = \frac{1250}{1250+5000} \cdot 21000 \cdot 15,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 620 \left[ 1 - \left( \frac{620}{1500} \right)^{1,815-1} \right] = 10,15 \text{ daN/mm}^2.$$

$$\sigma_2 = -\frac{5000}{1250+5000} \cdot 21000 \cdot 15,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 620 \left[ 1 - \left( \frac{620}{1500} \right)^{1,815-1} \right] = -40,6 \text{ daN/mm}^2.$$

Deoarece valoarea tensiunilor de turnare, tensiuni de întindere, în bara groasă nu depășește valoarea rezistenței la rupere, 50 daN/mm<sup>2</sup>, în piesa turnată nu vor apare crăpături.

\*

5.10. Să se determine valorile tensiunilor în centru și la suprafața unui cilindru turnat din oțel știind că există o diferență de temperatură între centru și suprafață de 50°C. Se are



nosce:  $E = 21000 \text{ daN/mm}^2$ ;  $\alpha = 15 \cdot 10^{-6}$ ;  $C_1 = 0,8$ . Dar dacă partea centrală trece în stare elastică atunci când temperatura suprafeței este de  $20^\circ\text{C}$ ?

Rezolvare:

Tensiunile termice pot apărea în piese cu grosime mare și uniformă a pereților, cilindri, lingouri, atunci când răcirea are loc cu viteză mare, părțile exterioare răcindu-se mai repede decât cele centrale. În aceste condiții în partea exterioară apar tensiuni de compresiune iar în partea centrală tensiuni de întindere.

Valoarea tensiunilor se poate calcula cu relația:

$$\sigma_{1,2} = \pm \frac{E (\tau_K - \tau_S) (1 - 2 \frac{r^2}{R^2}) C_1}{2 (1 - \mu)} \quad (1)$$

- unde:  $E$  - modulul de elasticitate, în  $\text{daN/mm}^2$ ;  
 $\alpha$  - coeficientul de dilatare termică;  
 $\tau_K$  - temperatura de trecere din domeniul plastic în domeniul elastic, în  $^\circ\text{C}$ ;  
 $\tau_S$  - temperatura la suprafață când centrul piesei trece în domeniul elastic, în  $^\circ\text{C}$ ;  
 $r$  - distanța față de centrul piesei a punctului în care se calculează tensiunea;  
 $R$  - raza cilindrului, lingoului;  
 $\mu$  - coeficientul lui Poisson,  $\mu = 0,3$ ;  
 $C_1$  - coeficient care ține seama de trecerea treptată din domeniul plastic în cel elastic.

Tensiunile au valori maxime în centru și la periferie. Înlocuind în relația (1)  $r = 0$  putem calcula tensiunile în centrul cilindrului:

$$\sigma_1 = + \frac{E \alpha (\tau_K - \tau_S) C_1}{2 (1 - \mu)} \quad (2)$$

La suprafața exterioară a cilindrului,  $r = R$ , tensiunile se vor calcula cu relația:

$$\sigma_2 = - \frac{E \alpha (\tau_K - \tau_S) C_1}{2 (1 - \mu)} \quad (3)$$

Din relațiile (2) și (3) se poate observa că tensiunile care apar în centrul unui lingou sau piese cilindrice și su-

prafata exterioră nu depind direct de grosimea piesei ci numai de gradientul termic.

Prin înlocuire în relația (2) pentru cele două cazuri se vor obține următoarele valori ale tensiunii:

$$a) \sigma_1 = + \frac{21000 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 0,8}{2 (1 - 0,3)} = 1,8 \text{ daN/mm}^2$$

$$b) \sigma_1 = + \frac{21000 \cdot 15 \cdot 10^{-6} (620 - 20) \cdot 0,8}{2 (1 - 0,3)} = 108 \text{ daN/mm}^2$$

Pentru tensiunile la suprafața exterioră se obține:

$$a) \sigma_2 = - \frac{21000 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 0,8}{2 (1 - 0,3)} = 1,8 \text{ daN/mm}^2$$

$$b) \sigma_2 = - \frac{21000 \cdot 15 \cdot 10^{-6} (620 - 20) \cdot 0,8}{2 (1 - 0,3)} = 108 \text{ daN/mm}^2$$

Se poate observa că în al doilea caz, valoarea tensiunilor de întindere depășesc rezistența la rupere a oțelurilor și deci în piesă vor apare crăpături.

■

3.41. Să se calculeze gradul de solidificare,  $g$ , al unei piese turnate din oțel care conține 0,3% S și 0,9% Mn, în momentul în care începe formarea sulfurii de mangan, MnS. Se cunosc:

- coeficientul de repartiție a sulfurii și manganului,  $K_S = 0,02$  respectiv  $K_{Mn} = 0,68$ ;
- temperatura de turnare,  $T_c = 1550^\circ\text{C}$ ;
- activitatea sulfurii de mangan,  $a_{MnS} = 0,5$ .

Se aproximează că sulfurul și manganul dizolvate în oțel respectă legea lui Henry.

Rezolvare:

În timpul solidificării oțelului, pe măsură ce oțelul se solidifică, restul topiturii se îmbogățește cu sulf și mangan și la un moment dat se atinge valoarea critică necesară formării sulfurii de mangan.

Sulfurile de mangan constituie incluziuni care afectează puternic proprietățile oțelului.

Procesul de microsegregare care are loc la solidificarea oțelului este reprezentat de ecuațiile lui Scheil:



$$\frac{df_L}{dC_L} = - \frac{1}{1-K} \frac{f_L}{C_L}.$$

Pentru un raport de repartiție constant, relația devine:

$$C_L = C_0 f_L^{K-1}, \quad (1)$$

unde:  $C_L$  - concentrația la un moment dat în oțelul lichid;  
 $C_0$  - concentrația inițială în oțelul lichid;  
 $f$  - cantitatea relativă de lichid în volumul analizat;  
 $K$  - raportul de repartiție la echilibru;

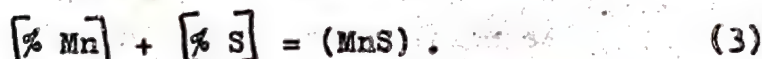
Deoarece:

$$f_L = 1 - g,$$

unde:  $g$  - gradul de solidificare, relația (1) devine:

$$C_L = C_0 (1 - g)^{K-1}. \quad (2)$$

Reacția care decurge la formarea sulfurii de mangan este următoarea:



Pentru reacția 3 se cunoaște entalpia liberă:

$$\Delta G^\circ = -130751 + 80,57 T [\text{J}] = -31200 + 19,3 T [\text{cal}].$$

Avînd în vedere că la echilibru variația entalpiei libere este nulă se obține:

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K = 0. \quad (4)$$

Constanta de echilibru a reacției (3) se calculează cu relația:

$$K = \frac{a_{\text{MnS}}}{a_{\text{Mn}} \cdot a_{\text{S}}}.$$

Prin înlocuire relația (3) devine:

$$\Delta G^\circ + RT \ln \frac{a_{\text{MnS}}}{a_{\text{MnS}} \cdot a_{\text{S}}} = 0.$$

Deoarece activitatea elementelor este necunoscută și concentrația elementelor este foarte mică, echilibrul reacției se poate caracteriza prin substituirea activității cu concentrația:

$$\Delta G^\circ + RT \ln \frac{a_{\text{MnS}}}{[\% \text{ Mn}] [\% \text{ S}]} = 0.$$

$$- 31200 + 19,3 T = - 4,58 T \log \frac{a_{MnS}}{[\% Mn][\% S]},$$

$$- 31200 + 19,3 \cdot 1823 = - 4,58 \cdot 1823 \log \frac{0,5}{[\% Mn][\% S]} \quad (5)$$

Din relația (5) se obține valoarea critică care trebuie atinsă în timpul procesului de solidificare pentru formarea sulfurii de mangan:

$$[\% Mn][\% S] = 1,52.$$

În continuare se calculează conținuturile de mangan și de sulf în funcție de gradul de solidificare:

$$[\% Mn]_l = 0,9 (1 - g)^{0,68-1};$$

$$[\% S]_l = 0,3 (1 - g)^{0,02-1};$$

$$[\% Mn]_l [\% S]_l = 0,9 (1-g)^{0,68-1} \cdot 0,3 (1-g)^{0,02-1}.$$

$$0,27 (1-g)^{-1,30} = 1,52 \quad (6)$$

Pentru a se calcula gradul de solidificare se logaritizează relația (6):

$$\log 0,27 (1-g)^{-1,30} = \log 1,52;$$

$$- 1,30 \log (1-g) = \log 1,52,$$

$$g = 0,735.$$

Rezultă că formarea sulfurii de mangan are loc după ce 73,5% din piesa turnată s-a solidificat.

■

5.12. Se consideră o oală de turnare cu diametrul de 3,2 m, în care se toarnă 100 t oțel la temperatura de 1650°C. Din pierderile totale de căldură 85% au loc prin radiație. Să se calculeze temperatura oțelului după 30 minute în cazul în care suprafața băii este neacoperită.

Rezolvare:

Căldura emisă prin radiație în unitatea de timp și pe unitatea de suprafață rezultă din legea Stefan Boltzman:

$$Q = \epsilon_{b-m} \cdot c \left[ \left( \frac{T_b}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_m}{100} \right)^4 \right] [W/m^2].$$

unde:  $\epsilon_{b-m}$  - coeficientul de emisivitate reciprocă între baia metalică și mediu,  $\epsilon_{b-m} = 0,5$ ;



$\sigma$  - constanta de radiație a corpurilor negre, în  $\text{W/m}^2\text{K}^4$   
( $\sigma = 5,67 \text{ W/m}^2\text{K}^4$ );

$T_b, T_m$  - temperatura băii metalice, respectiv a mediului,  
în K.

Deoarece în timp de 30 minute, temperatura oțelului lichid din oală se micșorează, în calcule se va considera o temperatură medie  $T_{mb} = 1625^\circ\text{C} = 1900 \text{ K}$ .

Temperatura mediului ambiant se stabilește mai greu și de aceea se adoptă din date practice  $T_m = 400 \text{ K}$ .

$$Q = 0,5 \cdot 5,67 \left[ \left( \frac{1900}{100} \right)^4 - \left( \frac{400}{100} \right)^4 \right] = 368734 \text{ W}.$$

Cantitatea de căldură emisă în unitatea de timp se calculează cu relația:

$$W = A \cdot Q = 8 \cdot 368734 = 2949874 \text{ W} \simeq 3 \text{ MW}.$$

Având în vedere că  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ , pierderile prin radiație în timp de 30 minute vor fi:

$$P = 30 \cdot 60 \cdot 3 = 5400 \text{ MJ}.$$

Stiind că aceasta reprezintă 85% din pierderile totale se calculează pierderile totale ca fiind:

$$P_{\text{tot}} = \frac{5400}{0,85} = 6353 \text{ MJ}.$$

Din tabele termodinamice se obține pentru entalpia oțelului la  $1650^\circ\text{C}$  valoarea de  $79 \text{ KJ/mol} = 79 \text{ MJ/k mol}$ .

La 100 tone oțel vor corespunde:

$$\frac{100000}{56} \simeq 1800 \text{ k mol Fe}$$

și un conținut total de căldură

$$Q' = 1800 \cdot 79 = 142200 \text{ MJ}.$$

Prin scăderea pierderilor de căldură pentru durata de 30 minute se obține o cantitate de căldură egală cu:

$$142200 - 6353 = 135847 \text{ MJ} = \frac{135847}{1800} = 75,5 \text{ MJ/kmol}.$$

Din tabele termodinamice pentru valoarea entalpiei obținute, corespunde o valoare a temperaturii oțelului lichid de  $\simeq 1560^\circ\text{C}$ .

Pierderea de temperatură pe parcursul celor 30 minute este de:

$$1650^{\circ} - 1560^{\circ} = 90^{\circ}\text{C}.$$

■

313. Să se determine cantitatea de căldură cedată formei de turnare la turnarea unui OT 500 știind că se toarnă o piesă cu dimensiunile  $\varnothing 100 \times 300$  mm. Piesa se toarnă într-o formă din amestec de formare cu coeficientul de acumulare a căldurii,  $b_f = 1628 \text{ W s}^{1/2}/\text{m}^2\text{K}$ , la temperatura de  $1600^{\circ}\text{C}$ . Se mai cunosc:

- temperatura de contact,  $T_c = 1350^{\circ}\text{C}$ ;
- temperatura inițială a formei,  $T_{if} = 20^{\circ}\text{C}$ .

Rezolvare:

Cantitatea de căldură cedată de oțelul lichid la turnare se calculează cu relația:

$$Q = \frac{2}{\sqrt{\pi}} b_f (T_c - T_{if}) \sqrt{t} \cdot F,$$

unde:  $F$  - suprafața de schimb de căldură între aliaj și formă.

$$F = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 100^2}{4} + \pi \cdot 100 \cdot 300 = 0,11 \text{ m}^2.$$

$$Q = \frac{2}{\sqrt{\pi}} 1628 (1350 - 20) \cdot 0,11 \cdot \sqrt{t} = 268822 \sqrt{t}.$$

Se poate observa că în timpul solidificării cantitatea de căldură transmisă formei de către aliaj respectă legea rădăcinii pătrate:  $Q = K\sqrt{t}$

$t$ [s]	15	30	60	90	120	150	180	210	300
$Q \cdot 10^3$ [J]	1041	1472	2082	2550	2944	3292	3607	3895	4656

■

314. Să se determine de câte ori crește viteza de solidificare a unui oțel carbon la turnarea lui într-o formă din amestec orud cu coeficientul de solidificare  $K = 0,15 \text{ cm/s}^{1/2}$  față de turnarea într-o formă din amestec uscat cu coeficientul de solidificare  $K = 0,10 \text{ cm/s}^{1/2}$ .



Rezolvare:

Solidificarea oțelurilor respectă legea rădăcinii pătrate:

$$x = K\sqrt{\bar{t}}, \quad (1)$$

unde:  $x$  - grosimea crustei solidificate;

$K$  - constanta de solidificare;

$\bar{t}$  - durata de solidificare.

Viteza de solidificare se obține prin derivarea relației (1) în raport cu timpul

$$v = \frac{dx}{d\bar{t}} = \frac{K}{2\sqrt{\bar{t}}}.$$

Se poate observa că viteza de solidificare scade hiperbolic cu timpul.

Viteza de solidificare pentru forma din amestec crud va fi:

$$v_c = \frac{0,15}{2\sqrt{\bar{t}}},$$

iar pentru forma din amestec uscat:

$$v_u = \frac{0,10}{2\sqrt{\bar{t}}}.$$

Intre cele două viteze de solidificare există raportul:

$$\frac{v_c}{v_u} = \frac{\frac{0,15}{2\sqrt{\bar{t}}}}{\frac{0,10}{2\sqrt{\bar{t}}}} = 1,5; \quad v_c = 1,5 v_u.$$

Viteza de solidificare în forme din amestec crude este cu 1,5 ori mai mare decât în forme din amestec uscate.

■

3.15. Să se determine timpul de solidificare al unei piese de formă cilindrică cu  $\varnothing 100$  mm, turnată din oțel carbon știind că se toarnă într-o formă din amestec uscat cu  $K = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^{1/2}$

Rezolvare:

Se aplică legea rădăcinii pătrate pentru grosimea echivalentă a peretelui piesei:

$$R_{ech} = K\sqrt{\bar{t}}.$$

Grosimea echivalentă pentru o piesă cilindrică se determină cu relația:

$$R_{ech} = \frac{R^2}{R} = \frac{R}{2}$$

Timpul de solidificare va fi:

$$\tau = \frac{R_{ech}^2}{K} = \frac{(25 \cdot 10^{-3})^2}{1,2 \cdot 10^{-3}} = 434'' = 7'14''$$

±

3.46. Să se determine timpul de solidificare al unei piese cu dimensiunile  $\varnothing 100 \times 300$  mm, știind că se toarnă din oțel carbon la temperatura de  $1600^\circ\text{C}$ , într-o formă din amestec uscat cu argilă și  $b_f = 1700 \text{ W s}^{1/2}/\text{m}^2\text{K}$ , cunoscându-se următoarele date:

- căldura latentă de solidificare a oțelului,  
 $L = 260000 \text{ J/kg}$ ;
- temperatura de contact,  $T_0 = 1350^\circ\text{C}$ ;
- căldura specifică masică a oțelului,  $c = 920 \text{ J/kg}$ ;
- densitatea oțelului,  $\rho = 7200 \text{ kg/m}^3$ ;
- temperatura de cristalizare,  $T_k = 1496^\circ\text{C}$ .

Rezolvare:

Timpul de solidificare se determină pe baza ecuației de bilanț termic:

$$Q_1 = Q_2$$

unde:  $Q_1$  - cantitatea de căldură cedată de aliaj formei, în J;

$Q_2$  - cantitatea de căldură primită de formă, în J.

$$Q_1 = m [L + c_1 (T_t - T_k)]$$

$$Q_2 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} b_f (T_0 - T_{if}) \sqrt{\tau} \cdot F$$

$$\sqrt{\tau} = \frac{m [L + c_1 (T_t - T_k)]}{\frac{2}{\sqrt{\pi}} b_f (T_0 - T_{if}) F}$$

$$m = V \cdot \rho = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} \cdot 0,3 \cdot 7200 \approx 17 \text{ kg}$$

$$F = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 100^2}{4} + \pi \cdot 100 \cdot 300 = 0,11 \text{ m}^2$$

$$\sqrt{\tau} = \frac{17 [260000 + 920 (1600 - 1496)]}{1,128 \cdot 1700 (1350 - 20) \cdot 0,11} = 21,5 \text{ s}$$

$$\tau = 462 \text{ s}$$



## CAPITOLUL 4

### SISTEME DE ALIMENTARE A PIESELOR TURNATE DIN OTEL

#### 4.1. Legi hidrodinamice care guvernează curgerea oțelului lichid

##### 4.1.1. Legea continuității

Exprimă principiul conservării masei, debitul masic în orice secțiune transversală de-a lungul unui curent fluid fiind constant, figura 4.1.

$$D_m = S v \varrho = \text{const.}$$

$$S_1 v_1 \varrho_1 = S_2 v_2 \varrho_2 = \text{const.}, (4.1)$$

unde:

$S_1, S_2$  - aria secțiunii jetului de oțel în punctele 1, respectiv 2, în  $\text{m}^2$ ;

$v_1, v_2$  - viteza jetului de oțel în punctele 1, respectiv 2, în  $\text{m/s}$ ;

$\varrho_1, \varrho_2$  - densitatea oțelului în cele două puncte, în  $\text{kg/m}^3$ .

Deoarece aliajele lichide sînt practic incompresibile,

$\varrho_1 = \varrho_2$ , adică:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = \text{ct.},$$

(4.2)

$$D_v = \text{ct.},$$

unde:  $D_v$  - debitul volumetric, în  $\text{m}^3/\text{s}$ .

##### 4.1.2. Legea conservării energiei

În orice punct al aliajului lichid care curge printr-un canal suma dintre presiunea hidrostatică, presiunea dinamică și presiunea exterioară, rămîne constantă.

$$H \gamma + \frac{v^2}{2g} \gamma + p = \text{ct.},$$

(4.3)

unde:  $H \gamma$  - presiunea hidrostatică;

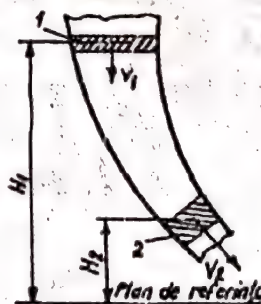


Fig. 4.1. Jet de oțel cu secțiune variabilă.

$\frac{v^2}{2g} \gamma$  - presiunea dinamică;

$p$  - presiunea exterioară.

Pentru jetul de aliaj cu secțiune variabilă în cazul curgerii ideale legea se poate scrie:

$$H_1 \gamma + \frac{v_1^2}{2g} \gamma + p_1 = H_2 \gamma + \frac{v_2^2}{2g} \gamma + p_2 \quad (4.4)$$

În cazul curgerii reale, când are loc o pierdere de energie pe traseul dintre două puncte, legea devine:

$$H_1 \gamma + \frac{v_1^2}{2g} \gamma + p_1 = H_2 \gamma + \frac{v_2^2}{2g} \gamma + p_2 + \sum \xi \frac{v^2}{2g} \gamma \quad (4.5)$$

unde:  $\sum \xi$  - coeficient de pierdere de energie.

$$\sum \xi = \xi_{rf} + \xi_{rl} \quad (4.6)$$

unde:  $\xi_{rf}$  - coeficient de pierdere de energie datorită frecării aliajului de pereții canalelor;

$\xi_{rl}$  - coeficient de pierdere de energie datorită rezistențelor locale.

$$\xi_{rf} = \lambda \frac{l}{d} \quad (4.7)$$

unde:  $\lambda$  - coeficient de frecare; în cazul otelurilor pentru curgerea turbulentă,  $\lambda = 0,04$ ;

$l$  - lungimea canalului;

$d$  - diametrul canalului.

$$\xi_{rl} = \xi_{rd} + \xi_{rs} \quad (4.8)$$

unde:  $\xi_{rd}$  - coeficient de pierdere de energie datorită schimbărilor bruște de direcție. Valoarea sa se determină în funcție de unghiul cotului pe care-l face canalul.

Tabelul 4.1.

Valorile $\xi_{rd}$				
Unghiul cotului canalului	30°	60°	90°	120°
$\xi_{rd}$	0,20	0,55	1,00	1,40

$\xi_{rs}$  - coeficient de pierdere de energie datorită schimbărilor cursive de secțiune. Valoarea coeficientului se poate alege din tabele sau se calculează cu relația:



$$rs = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2$$

$S_1$  - secțiunea canalului îngust;

$S_2$  - secțiunea canalului larg.

Tabelul 4.2.

Valorile  $rs$  în funcție de raportul  
secțiunilor

Raportul secțiunilor	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$rs$	0,42	0,34	0,25	0,15	0

4.1. Să se aplice legea conservării energiei în cazul curgerii ideale și reale a oțelului lichid prin rețeaua de turnare, figura 4.2.

Rezolvare:

Se aplică legea conservării energiei între punctele (1) și (2) în cazul curgerii ideale:

$$H_1 \gamma + \frac{v_1^2}{2g} \gamma + p_1 = H_2 \gamma + \frac{v_2^2}{2g} \gamma + p_2 \quad (1)$$

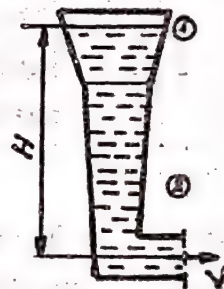


Fig. 4.2. Schemă pentru aplicarea legii conservării energiei.

Pentru punctul (1) se poate scrie:

$$H_1 = H;$$

$$v_1 = 0;$$

$$p_1 = p_a.$$

Pentru punctul (2) se poate scrie:

$$H_2 = 0;$$

$$v_2 = v;$$

$$p_2 = p_a.$$

Relația (1) devine:

$$H \gamma + p_a = \frac{v^2}{2g} \gamma + p_a;$$

$$v = \sqrt{2gH} \quad (2)$$

În cazul curgerii ideale, după cum arată relația (2) viteza de curgere depinde numai de înălțimea colcanței de oțel lichid.

Se aplică legea conservării energiei pentru cazul curgerii reale între punctele (1) și (2) ale rețelei de turnare:

$$H_1 \gamma + \frac{v_1^2}{2g} \gamma + p_1 = H_2 \gamma + \frac{v_2^2}{2g} \gamma + p_2 + \sum \xi \frac{v^2}{2g} \gamma,$$

sau

$$H \gamma + p_a = \frac{v^2}{2g} \gamma + p_a + \sum \xi \frac{v^2}{2g} \gamma,$$

$$H = \frac{v^2}{2g} (1 + \sum \xi),$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum \xi}} \sqrt{2gH}. \quad (3)$$

Se notează cu:  $\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum \xi}}$ , coeficient de pierdere de viteză.

Relația (3) devine:

$$v = \mu \sqrt{2gH}, \quad (4)$$

formula de calcul pentru viteza de curgere a oțelului lichid într-un canal de turnare.

x  
x x

4.2. Să se determine diametrul piciorului de turnare la partea inferioară dacă se cunosc datele din figura 4.2.

Rezolvare:

Se aplică legea continuității între punctele (1), respectiv (2):

$$S_1 v_1 = S_2 v_2.$$

$$\frac{\pi d_1^2}{4} \mu \sqrt{2gh} = \frac{\pi d_2^2}{4} \mu \sqrt{2g(H+h)},$$

$$d_2 = d_1 \sqrt[4]{\frac{h}{H+h}}.$$

$$d_2 = 90 \sqrt[4]{\frac{160}{650+160}} = 90 \cdot \frac{2}{3} = 60$$

$$d_2 = 60 \text{ mm}$$

x

x x x

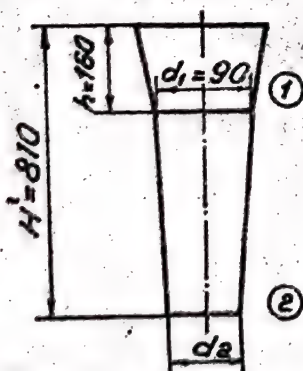


Fig. 4.2. Pîlnia și piciorul de turnare



4.3. Să se determine coeficientul de pierdere de viteză în cazul curgerii oțelului lichid prin sistemul de canale din figura 4.3.

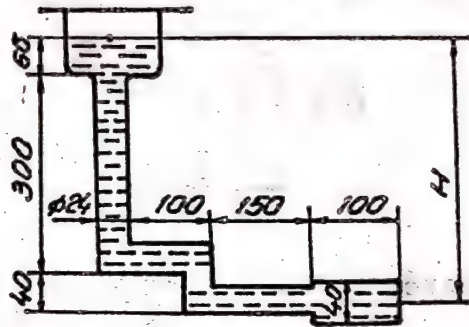


Fig. 4.3. Curgerea oțelului cu frecări și rezistențe.

Rezolvare:

Coeficientul de pierdere de viteză se determină cu relația:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum \xi}};$$

$$\sum \xi = \xi_f + \xi_{r1} + \xi_{rs}.$$

$$\xi_f = \lambda \frac{1}{d} = 0,04 \left( \frac{0,3+0,1+0,4+0,15}{0,024} + \frac{0,1}{0,04} \right) = 1,083.$$

Pentru calculul coeficientului de pierdere de energie datorită schimbărilor bruște de direcție se observă din figură că avem trei coturi la 90°.

$$\xi_{r1} = 3 \times 1 = 3.$$

$$\xi_{rs} = \left( 1 - \frac{s_1}{s_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{\frac{\pi \cdot 0,024^2}{4}}{\frac{\pi \cdot 0,04^2}{4}} \right)^2 = 0,41.$$

Coeficientul de pierdere de energie va fi:

$$\sum \xi = 1,083 + 3 + 0,41 = 4,493;$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + 4,493}} \approx 0,43.$$

$$v_r = \mu \sqrt{2 g h} = \mu \cdot v_t \Rightarrow \frac{v_r}{v_t} = \mu.$$

Deci viteza reală de curgere reprezintă  $\approx 43\%$  din viteza teoretică de ungere.

$\pi$

$\pi \quad \pi$

4.1.3. Determinarea timpului de turnare a oțelului dintr-o oală cu dop.

Pentru calculul timpului de turnare a unei oale cu oțel, figura 4.4, se folosesc următoarele notații:

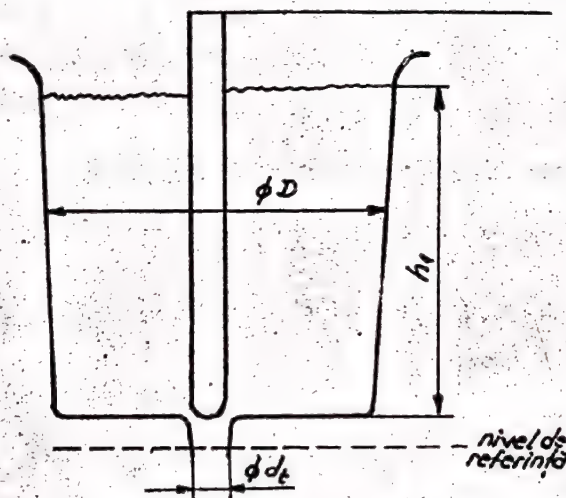


Fig. 4.4. Oală de turnare cu dop

- $D$  - diametrul mediu al oalei, în m;
- $h_1$  - înălțimea oțelului în oală la timpul  $t = 0$ , în m;
- $h$  - înălțimea oțelului în oală la momentul  $t$ , în m;
- $h_t$  - înălțimea finală a oțelului în oală, în m;
- $l_1, l_2$  - înălțimea oțelului lichid în oală la momentele  $t_1$  și  $t_2$ , în m;
- $\mu$  - coeficientul de pierdere de viteză pentru orificiul de curgere;
- $A_1$  - aria medie a oalei la înălțimea  $h_1$ , în  $m^2$ ;
- $A$  - aria medie a oalei la înălțimea  $h$ , în  $m^2$ ;
- $A_t$  - aria orificiului de turnare, în  $m^2$ ;
- $d_t$  - diametrul orificiului de turnare, în m;
- $M_1$  - masa oțelului din oală la momentul  $t = 0$ , în kg;
- $M$  - masa oțelului din oală la momentul  $t$ , în kg;
- $\Delta M$  - cantitatea de oțel evacuată din oală la o turnare, în kg;



- W - viteza de turnare a oțelului din coala sau debitul masic de turnare, în kg/s;  
 $v_1$  - viteza de curgere a oțelului la înălțimea  $h_1$ , în m/s;  
 $v$  - viteza de curgere a oțelului la înălțimea  $h$ , în m/s;  
 $v_t$  - viteza de curgere a oțelului prin orificiul de turnare, în m/s;  
 $\rho$  - densitatea oțelului lichid, în kg/m<sup>3</sup>;  
 $t$  - timpul, în s;  
 $g$  - accelerația gravitațională,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ;  
 $p_1, p, p_t$  - presiunea la înălțimea  $h_1, h$  și  $h_t$ , în N/m<sup>2</sup>.  
 Pe baza legii conservării energiei, legea lui Bernoulli:

$$h + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} = \text{ct} \quad (4.9)$$

și în conformitate cu notațiile anterioare pentru înălțimile  $h_1, h$  și  $h_t$  se poate scrie:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = h + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} = h_t + \frac{v_t^2}{2g} + \frac{p_t}{\rho g} \quad (4.10)$$

Se alege înălțimea orificiului de curgere ca nivel de referință, deci  $h_t = 0$ .

Deoarece  $p_1 = p = p_t = \text{const.} = \text{presiunea atmosferică}$ , relația (4.10) devine:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h + \frac{v^2}{2g} = \frac{v_t^2}{2g} \quad (4.11)$$

Pe baza legii continuității pentru înălțimile  $h_1, h$  și  $h_t$  se poate scrie:

$$A_1 v_1 = A v = A_t v_t \quad (4.12)$$

Din relația (4.12) se obține:

$$v_1 = v_t \frac{A_t}{A_1}; \quad (4.13)$$

$$v = v_t \frac{A_t}{A}$$

Înlocuind în relația (4.11) rezultă:

$$h_1 + \frac{v_t^2}{2g} \left( \frac{A_t}{A_1} \right)^2 = h + \frac{v_t^2}{2g} \left( \frac{A_t}{A} \right)^2 = \frac{v_t^2}{2g}; \quad (4.14)$$

$$h_1 = \frac{v_t^2}{2g} \left[ 1 - \left( \frac{A_t}{A_1} \right)^2 \right]; \quad (4.15)$$

$$h = \frac{v_t^2}{2g} \left[ 1 - \left( \frac{A_t}{A} \right)^2 \right]. \quad (4.16)$$

Din relațiile (4.15) și (4.16) se obține:

$$v_t = \sqrt{\frac{2gh_1}{1 - \left( \frac{A_t}{A_1} \right)^2}} = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left( \frac{A_t}{A} \right)^2}}. \quad (4.17)$$

Considerăm că la turnarea oțelului din oală în timpul „dt” nivelul oțelului coboară de la „h” la „h - dh”. Această micșorare a nivelului oțelului din oală îi corespunde un volum de oțel turnat  $d_q = -A \cdot dh$ , volum care se mai poate scrie ca fiind:

$$d_q = \mu \cdot A_t \cdot v_t \cdot dt, \quad (4.18)$$

sau pe baza relațiilor anterioare:

$$\mu A_t \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left( \frac{A_t}{A} \right)^2}} \cdot dt = -A \cdot dh; \quad (4.19)$$

$$dt = -\frac{1}{\mu} \cdot \frac{A}{A_t} \sqrt{\frac{1 - \left( \frac{A_t}{A} \right)^2}{2gh}} \cdot dh.$$

Pentru ca la turnare, nivelul oțelului din oală să coboare de la înălțimea  $l_1$ , la înălțimea  $l_2$ , este necesar un timp  $t$ , care se calculează prin integrarea relației (4.19).

$$\int_0^t dt = -\frac{1}{\mu A_t \sqrt{2g}} \int_{l_1}^{l_2} \sqrt{\frac{1 - \left( \frac{A_t}{A} \right)^2}{h}} \cdot dh. \quad (4.20)$$

Avînd în vedere că aria orificiului de turnare este foarte mică, în comparație cu aria medie a oalei, raportul  $A_t/A \rightarrow 0$ , deci se poate neglija,

$$t = -\frac{1}{\mu A_t \sqrt{2g}} \int_{l_1}^{l_2} \frac{A}{\sqrt{h}} \cdot dh. \quad (4.21)$$



Pentru calele de turnare obișnuite, se poate considera diametrul constant și egal cu o valoare medie „D”. În aceste condiții:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}.$$

Înlocuind în relația (4.21) rezultă:

$$t = - \frac{\pi D^2}{4 \mu A_t \sqrt{2g}} \int_{l_1}^{l_2} \sqrt{\frac{dh}{h}}. \quad (4.22)$$

Pe baza relației (4.22) se poate calcula:

a) timpul necesar pentru turnarea totală a unei oale de oțel.

În aceste condiții:

$$l_1 = h_1;$$

$$l_2 = 0,$$

și relația (4.22) devine

$$t = - \frac{\pi D^2}{4 \mu A_t \sqrt{2g}} \int_{h_1}^0 \sqrt{\frac{dh}{h}}; \quad (4.23)$$

$$t = - \frac{2 D^2 \pi}{4 \mu A_t \sqrt{2g}} \left. \sqrt{h} \right|_{h_1}^0,$$

$$t = \frac{\pi D^2 \sqrt{h_1}}{2 \mu A_t \sqrt{2g}}. \quad (4.24)$$

Știind că,  $M_1 = V_1 \rho = \frac{\pi D^2}{4} h_1 \rho$ , rezultă:

$$h_1 = \frac{4 M_1}{\pi D^2 \rho}. \quad (4.25)$$

și introducând în relația (4.24) obținem:

$$t = \frac{\pi D^2}{2 \mu A_t \sqrt{2g}} \sqrt{\frac{4 M_1}{\pi D^2 \rho}}$$

$$t = \frac{D}{\mu A_t} \sqrt{\frac{\pi M_1}{g}}. \quad (4.26)$$

b) Timpul necesar pentru turnarea parțială a unei oale de oțel.

Se consideră că înălțimea inițială a oțelului în oala de turnare este  $h_1$ . Se toarnă din oală o cantitate de oțel în așa fel încît după turnare înălțimea băii metalice este  $h$ , adică:

$$l_1 = h$$

$$l_2 = h.$$

În aceste condiții relația (4.22) devine:

$$t = - \frac{\pi D^2}{4\mu A_t \sqrt{2g}} \int_{h_1}^h \frac{1}{\sqrt{h}} \cdot dh ; \quad (4.27)$$

$$t = - \frac{\pi D^2}{4\mu A_t \sqrt{2g}} \cdot 2\sqrt{h} \Big|_{h_1}^h$$

$$t = \frac{\pi D^2}{2\mu A_t \sqrt{2g}} (\sqrt{h_1} - \sqrt{h}). \quad (4.28)$$

Deoarece,  $M = V\rho = \frac{\pi D^2}{4} h\rho$ , rezultă:

$$h = \frac{4M}{\pi D^2 \rho}. \quad (4.29)$$

Introducînd relațiile (4.25 și (4.29) în relația (4.28), avem:

$$t = \frac{\pi D^2}{2\mu A_t \sqrt{2g}} \left( \sqrt{\frac{4M_1}{\pi D^2 \rho}} - \sqrt{\frac{4M}{\pi D^2 \rho}} \right)$$

$$t = \frac{D}{\mu A_t} \sqrt{\frac{\pi}{2g\rho}} (\sqrt{M_1} - \sqrt{M}), \quad (4.30)$$

sau avînd în vedere că:  $M = M_1 - \Delta M$ ,

$$t = \frac{D}{\mu A_t} \sqrt{\frac{\pi}{2g\rho}} (\sqrt{M_1} - \sqrt{M_1 - \Delta M}). \quad (4.31)$$

c) Viteza de turnare a oțelului din oală sau debitul de turnare.

Cantitatea de oțel turnată în unitatea de timp se poate scrie:

$$W = \mu \rho A_t V_t. \quad (4.32)$$



Deoarece  $A_t \gg A$  și  $v_t = \sqrt{2 g h}$ , pe baza relațiilor (4.29), (4.32), rezultă viteza de turnare:

$$W = \mu \zeta A_t \sqrt{2 g h} = \mu \zeta A_t \sqrt{\frac{4 \cdot 2 M}{3 \pi D^2}},$$

$$W = \frac{2 \mu A_t}{D} = \sqrt{\frac{2 \zeta g M}{\pi}} \quad (4.33)$$

Debitul de turnare se poate calcula și cu relațiile (4.32), (4.28), (4.25):

$$t = - \frac{\pi D^2}{2 \mu A_t \sqrt{2 g}} (\sqrt{h} - \sqrt{h_1}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h = \left[ \sqrt{h_1} - t \frac{2 \mu A_t \sqrt{2 g}}{\pi D^2} \right]^2; \quad (4.34)$$

de unde:

$$W = \mu \zeta A_t \sqrt{2 g} \left[ \sqrt{h_1} - t \frac{2 \mu A_t \sqrt{2 g}}{\pi D^2} \right],$$

$$W = \mu \zeta A_t \sqrt{2 g} \left[ \sqrt{\frac{4 M_1}{\pi \rho D^2}} - t \frac{2 \mu A_t \sqrt{2 g}}{\pi D^2} \right]. \quad (4.35)$$

Dacă se are în vedere că  $A_t = \frac{\pi d_t^2}{4}$ , relația (4.32) se mai poate scrie:

$$W = \mu \frac{\pi d_t^2}{4} \sqrt{2 g h} \quad (4.35)$$

d) Viteza de curgere a oțelului prin orificiul de turnare. Pentru calculul vitezei de curgere a oțelului prin orificiul de turnare se utilizează relațiile:

$$v_t = \sqrt{2 g h};$$

$$h = \frac{4 M}{\pi \zeta D^2};$$

$$\text{de unde rezultă } v_t = \sqrt{2 g \frac{2}{D} \sqrt{\frac{G}{3 \pi}}} \quad (4.36)$$

4.4. Se dă o oală de turnare pentru oțel cu următoarele caracteristici:

- capacitatea oalei, 5000 kg;
- diametrul mediu, 1 m;
- înălțimea băii metalice, 0,82 m;
- diametrul orificiului de turnare: a) 5 cm; b) 7,5 cm;

- coeficientul de pierdere de viteză  $\mu = 0,9$ ;
- densitatea oțelului,  $7000 \text{ kg/m}^3$ .

Să se calculeze:

1. timpul necesar pentru turnarea totală a oalei;
2. timpul necesar pentru turnarea parțială a oalei;
3. viteza de turnare a oțelului;
4. viteza de curgere a oțelului prin orificiul de turnare.

Rezolvare:

1. Pentru calculul timpului total de turnare se utilizează relația:

$$t = \frac{D}{\mu A_t} \sqrt{\frac{\pi M_1}{g}}$$

$$t = \frac{1}{0,9 \frac{\pi d_t^2}{4}} \sqrt{\frac{\pi M_1}{2 \cdot 9,81 \cdot 7800}} = \frac{0,0064}{d_t^2} \sqrt{M}.$$

$$\text{Pentru: } d = 0,05 \text{ m} \Rightarrow t = 2,56 \sqrt{M_1};$$

$$d = 0,075 \text{ m} \Rightarrow t = 1,14 \sqrt{M_1}.$$

În figura 4.5 se prezintă corelația dintre timpul total de turnare a unei oale de turnare și cantitatea de oțel din oală pentru valori diferite ale orificiului dopului.

2. Pentru determinarea timpului de golire parțială a oalei se utilizează relația:

$$t = \frac{D}{\mu A_t} \sqrt{\frac{\pi}{2 \rho g}} (\sqrt{M_1} - \sqrt{M_1 - \Delta M}).$$

$$t = \frac{1}{0,9 \frac{\pi d_t^2}{4}} \sqrt{\frac{\pi}{2 \cdot 9,81 \cdot 7800}} (\sqrt{5000} - \sqrt{5000 - \Delta M}) = \frac{0,0064}{d_t^2} (70,6 - \sqrt{5000 - \Delta M}).$$

$$d_t = 0,05 \text{ m} \Rightarrow t = 2,56 (70,6 - \sqrt{5000 - \Delta M});$$

$$d_t = 0,075 \text{ m} \Rightarrow t = 1,14 (70,6 - \sqrt{5000 - \Delta M}).$$

În figura 4.6 se prezintă dependența dintre timpul de turnare și cantitatea de oțel lichid evacuată în cursul unei turnări.



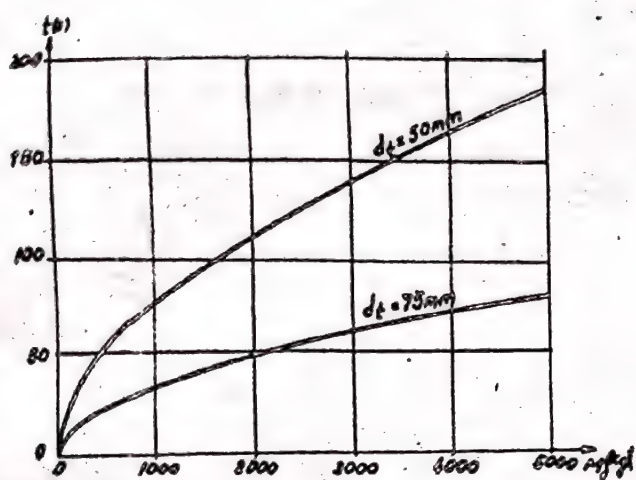


Fig. 4.5. Timpul necesar pentru turnarea totală a unei oale cu oțel

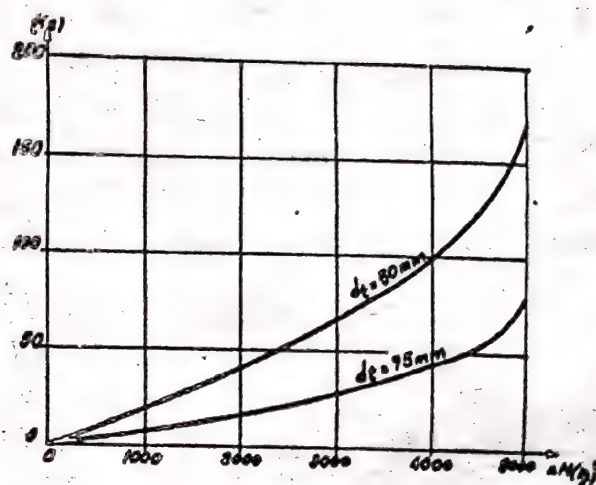


Fig. 4.6. Timpul necesar pentru turnarea parțială a unei oale cu oțel

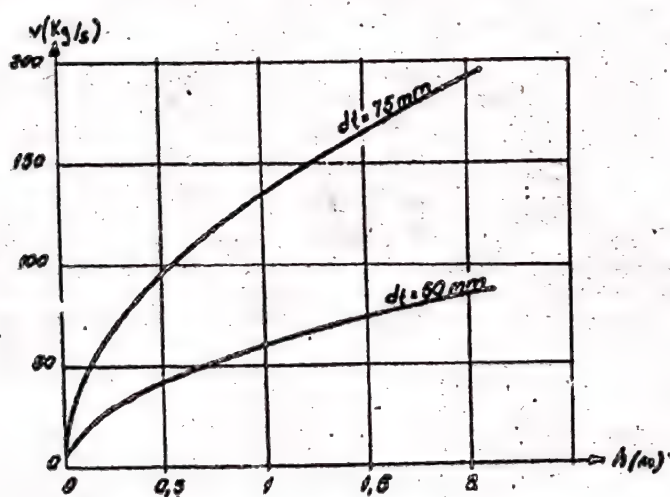


Fig. 4.8. Viteza de turnare a oțelului dintr-o oală cu dop

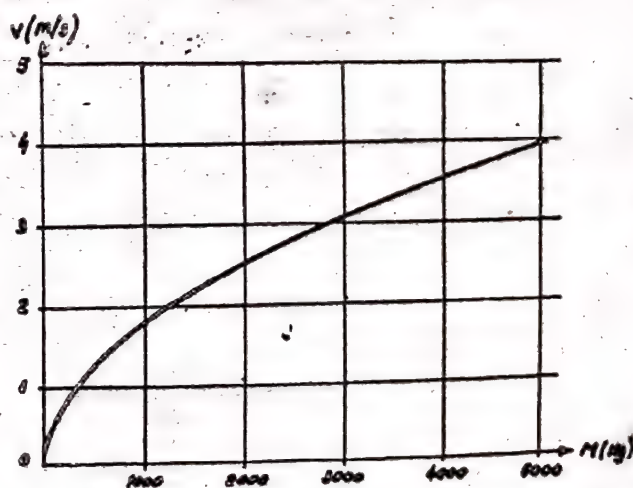


Fig. 4.9. Viteza de curgere a oțelului prin orificiul de turnare

În continuare pentru  $d = 0,05$  m, se calculează timpul „t” necesar turnării unei cantități  $\Delta M$  de oțel în funcție de cantitatea de oțel aflată în oală, pe baza relației (4.31).

$$t = \frac{4}{0,9 \pi 0,05^2} \sqrt{\frac{\pi}{2 \cdot 9,81 \cdot 7800} (\sqrt{M_1} - \sqrt{M_1 - \Delta M})};$$

$$t = 2,56 (\sqrt{M_1} - \sqrt{M_1 - \Delta M}).$$

În figura 4.7. se prezintă această corelație.

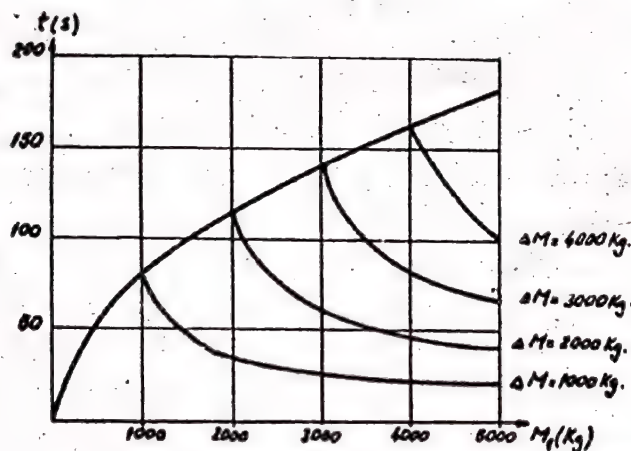


Fig. 4.7. Timpul necesar turnării unei cantități  $\Delta M$  de oțel în funcție de cantitatea de oțel din oală.

3. Pentru calculul vitezei de turnare se utilizează relația:

$$W = \mu g \frac{\pi d_t^2}{4} \sqrt{2 g h}.$$

$$W = 0,9 \cdot 7800 \cdot \frac{\pi d_t^2}{4} \sqrt{2 g h}$$

$$W = 24400 \sqrt{h} d_t^2.$$

$$d_t = 0,05 \text{ m} \Rightarrow W = 61 \sqrt{h};$$

$$d_t = 0,075 \text{ m} \Rightarrow W = 137 \sqrt{h}.$$



În figura 4.8 se prezintă corelația dintre viteza de turnare și înălțimea băii de oțel din oală pentru diferite diametre ale orificiului dopului.

4. Pentru calculul vitezei de curgere a oțelului prin orificiul dopului se utilizează relația:

$$v_t = \sqrt{2g} \frac{2}{D} \sqrt{\frac{M}{9\pi}}$$

$$v_t = \sqrt{2g} \frac{2}{I} \sqrt{\frac{1}{7800\pi}} \sqrt{M}$$

$$v_t = 0,0568 \sqrt{M}$$

Corelația dintre viteza de curgere și cantitatea de oțel lichid din oala de turnare cu dop, se prezintă în figura 4.9.

#### 4.2. Dimensionarea rețelelor de turnare

##### 4.2.1. Dimensionarea rețelelor de turnare convergente

Rețelele convergente utilizate la turnarea oțelului se caracterizează în general prin următoarele rapoarte caracteristice:

$$S_p : S_{cz} : S_a = 1,6 : 1,3 : 1 \text{ pentru piese mari;}$$

$$S_p : S_{cz} : S_a = 1,3 : 1,15 : 1 \text{ pentru piese mijlocii;}$$

$$S_p : S_{cz} : S_a = (1,1 \dots 1,2) : (1,05 \dots 1,2) : 1 \text{ pentru piese mici.}$$

unde:  $S_p$  - aria secțiunii piciorului pîlniei de turnare;  
 $S_{cz}$  - aria secțiunii colectorului de zgură;  
 $S_a$  - aria secțiunii alimentatoarelor.

Calculul de dimensionare a rețelelor de turnare constă în determinarea ariei secțiunii celei mai înguste, aria alimentatorului.

Aria secțiunii alimentatorului se determină cu relația:

$$S_a = \frac{M}{v g t_{tot}} [m^2], \quad (4.37)$$

unde:  $M$  - masa totală de aliaj lichid, în kg;

$$M = M_{pt} + M_{rt} + M_m,$$

$M_{pt}$  - masa piesei turnate;

$M_{rt}$  - masa rețelei de turnare;

$M_m$  - masa maselotelor;

$v$  - viteza de curgere a oțelului lichid prin alimentator, în m/s;

$\rho$  - densitatea oțelului lichid, în  $\text{kg/m}^3$ ;

$t_{\text{tot}}$  - timpul optim de umplere a formei, în s.

Masa rețelei de turnare se adoptă în funcție de masa piesei turnate, tabelul 4.3.

Pentru determinarea timpului optim de umplere se utilizează următoarele relații determinate pe cale experimentală:

$$t_{\text{tot}} = s \sqrt{M} \quad [\text{s}] ; \quad (4.38)$$

$$t_{\text{tot}} = s \sqrt[3]{\delta_0 M} \quad [\text{s}], \quad (4.39)$$

unde:  $s$  - coeficient care depinde de grosimea de perete a piesei turnate, tabelul 4.5 și de gradul de complexitate, tabelul 4.4.

$\delta_0$  - grosimea de perete a piesei turnate, în mm.

În tabelul 4.6 se prezintă modul de calcul al grosimii de perete  $\delta_0$ , în funcție de tipul piesei și de dimensiunile ei.

Timpul optim de umplere a formei se poate determina și pe baza unor nomograme, figura 4.10 și figura 4.11, în funcție de cantitatea de oțel turnată în formă, grosimea medie de perete, pentru valori ale coeficientului de corecție  $s = 1$ .

La turnarea oțelului în forme din amestec de formare se pot folosi și următoarele relații pentru determinarea timpului optim de umplere:

- pentru piese cu pereți subțiri

$$t_{\text{tot}} = 1,00 M^{\frac{5}{12}} ;$$

- pentru piese cu pereți groși

$$t_{\text{tot}} = 1,35 M^{\frac{5}{12}} ;$$

Pe baza acestor două relații s-a obținut relația generală pentru calculul timpului optim de umplere a formei:

$$t_{\text{tot}} = k \delta_0^a M^b \quad (4.40)$$

unde:  $M$  - cantitatea de oțel care se toarnă în formă;

$\delta_0$  - grosimea de perete a piesei, în mm;

$k, a, b$  - parametrii dependenți de regimul tehnologic,

$k = 1,0 \dots 2,35$ ;  $a = 0,0 \dots 0,35$ ;  $b = 0,33 \dots 0,55$ .

Pentru calculul vitezei de curgere prin canalele rețelei de turnare se folosesc următoarele relații:



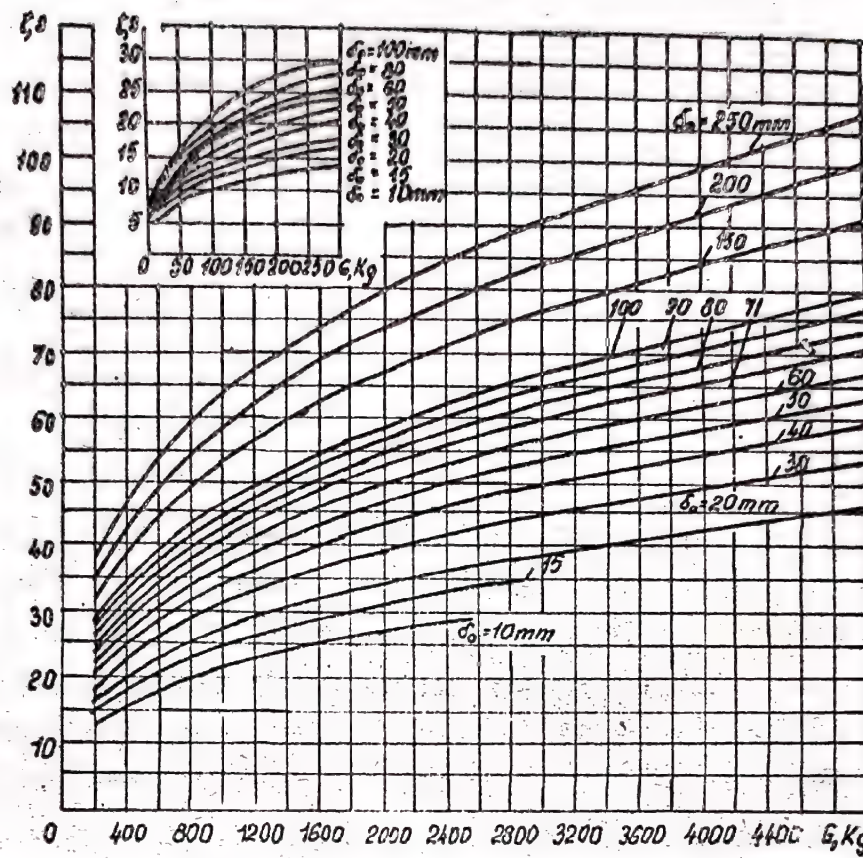


Fig. 4.10. Nomogramă pentru determinarea duratei de turnare

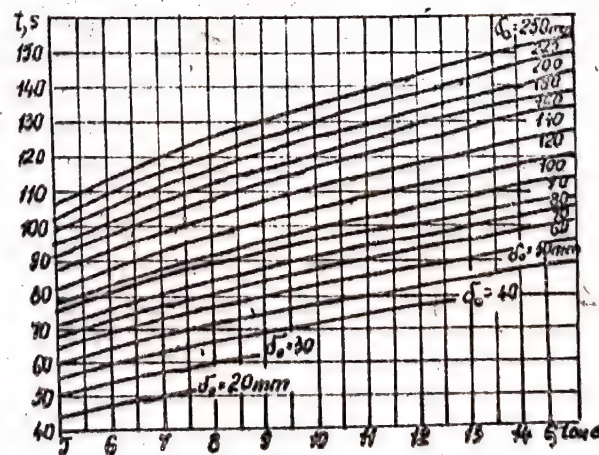


Fig. 4.11. Nomogramă pentru determinarea duratei de turnare

Tabelul 4.3.

Masa rețelei de turnare în funcție de greutatea piesei

Masa piesei $M_0$ , în kg	Masa rețelei de turnare $M_{rt}$ , în kg	$M_0$ , în kg	$M_{rt}$ , în kg
pînă la 10	$0,2 M_0$		
10...100	$0,1...0,15 M_0$	5000...10000	$0,05 M_{rt}$
$\frac{100...1000}{1000...5000}$	$0,08 M_0$	peste 10000	$0,04 M_{rt}$

Tabelul 4.4.

Clasificarea pieselor turnate în funcție de complexitate și natura formei

G r u p a		C a r a c t e r i s t i c i
Formă crudă	Formă uscăță	
I	I	<ul style="list-style-type: none"> <li>- piese tip plăci cu poziție orizontală în formă la turnare;</li> <li>- piese unicate de mare răspundere, care sînt supuse la un control cu ultrasunete, röntgenografic, încercate hidraulic la presiune înaltă;</li> <li>- piese cu suprafețe orizontale mari care se prelucurează la partea superioară.</li> </ul>
I	II	<ul style="list-style-type: none"> <li>- piese tip roți dințate și tip inele;</li> <li>- piese la care predomină pereți subțiri.</li> </ul>
II II	III	<ul style="list-style-type: none"> <li>- piese cu prelucrare mecanică pe toate părțile, plasate în partea inferioară a ramei de formare</li> </ul>
II	IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- piese cu pereți verticali, turnate în această poziție</li> </ul>



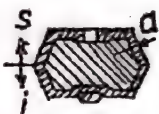
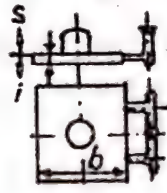

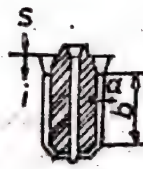
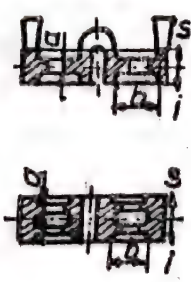
Tabelul 4.5.

Valorile coeficientului  $s$ , în funcție de grupa piesei turnate, de masa  $M_0$  și de grosimea de perete

Grupa	$M_0$ , în kg	Coeficientul $s$ pentru diferite grosimi $a$ , în mm				
		15	15...30	30...50	50...100	100
I	500	1,0	0,90	0,80	0,75	-
	500...1000	1,05	1,00	0,90	0,80	0,75
	1000...5000	1,15	1,05	0,95	0,85	0,80
	5000...15000	1,25	1,10	1,0	0,90	0,85
II	500	1,10	1,0	0,90	0,85	-
	500...1000	1,20	1,10	1,0	0,95	0,90
	1000...5000	1,30	1,20	1,05	1,0	0,95
	5000...15000	1,40	1,30	1,15	1,05	1,0
III	500	1,25	1,10	1,0	0,95	-
	500...1000	1,30	1,20	1,10	1,05	1,0
	1000...5000	1,45	1,30	1,15	1,10	1,05
	5000...15000	1,55	1,40	1,25	1,15	1,10
IV	500	1,35	1,20	1,10	1,05	-
	500...1000	1,40	1,30	1,20	1,15	1,10
	1000...5000	1,60	1,45	1,30	1,25	1,20
	5000...15000	1,75	1,60	1,45	1,35	1,25

Tabelul 4.6

Modul de calcul al grosimii de perete  $\delta_0$  în funcție de tipul piesei și de dimensiunile ei.

Piese turnate	Schema	$\delta_0$
cu pereți uniformi		$\delta_0 = a$
tip plăci		$\delta_0 = a ; \frac{b}{a} \gg 4$
tip bare, traverse, bandaje		$\delta_0 = \frac{a+b}{4} ; \frac{b}{a} \ll 2$
tip bușe cilindrice		$\delta_0 = a ; \frac{b}{a} \gg 4 ;$ $\delta_0 = 0,75a ; \frac{b}{a} = 2 \dots 4$ $\delta_0 = \frac{a+b}{4} ; \frac{b}{a} \ll 2$
tip roți dințate și inele		$\delta_0 = a ; \frac{b}{a} \gg 8 ;$ $\delta_0 = 1,25a ; \frac{b}{a} \ll 8 ;$ $\delta_0 = 1,25a ; \frac{b}{a} \gg 8 ;$ $\delta_0 = 1,5a ; \frac{b}{a} \ll 8$



- pentru turnarea directă

$$v = \mu \sqrt{2 g H} ; \quad (4.41)$$

- pentru turnarea în sifon

$$v = \mu \sqrt{2 g} \frac{H - h}{2 (\sqrt{H} - \sqrt{h})} ; \quad (4.42)$$

- pentru turnarea intermediară

$$v = \mu \sqrt{2 g} \frac{(H - h) \sqrt{H}}{\sqrt{H} (\sqrt{H} + \sqrt{h}) + \frac{1}{2} (H - h)} ; \quad (4.43)$$

în care:  $H$  - înălțimea piciorului pîlniei, în m;

$h$  - înălțimea piesei, în m;

$\mu$  - coeficientul de pierdere de viteză.

Calculul vitezei de curgere a oțelului în secțiunea alimentatorului se poate face și cu relația lui Dietrich, figura 4.12.

$$v = \mu \sqrt{2 g H_c} \quad (4.44)$$

$$H_c = H - \frac{h_1^2}{2 h} \quad (4.45)$$

unde:  $H_c$  - înălțimea hidraulică de calcul.

Pentru:

$$h_1 = 0 \Rightarrow H_c = H \rightarrow \text{turnare directă}$$

$$\begin{aligned} h_1 = h_2 &\Rightarrow H_c = H - \frac{h_1^2}{2} = \\ &= \frac{H + (H - h_1)}{2} \end{aligned}$$

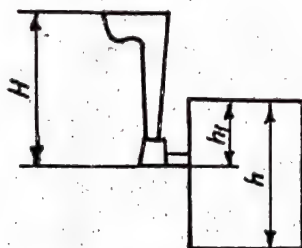


Fig. 4.12. Schemă pentru calculul vitezei după metoda lui Dietrich

La turnarea în sifon înălțimea hidraulică de calcul este egală cu media înălțimii hidraulice efective la începutul și la sfîrșitul turnării.

Pentru piesele turnate din oțel, calculul secțiunii alimentatoarelor se poate face cu ajutorul debitului specific de turnare:

$$S_a = \frac{M}{t_{\text{tot}} k_s L} \quad (4.46)$$

în care:  $k_s$  - debitul specific de turnare în secțiunea alimentatorului, în  $\text{kg}/\text{m}^2 \text{s}$ ;

$L$  - coeficient de corecție care ține seama de fluiditatea oțelului

$L = 1$  pentru oțeluri carbon;

$L = 0,9$  pentru oțeluri slab aliate;

$L = 0,8$  pentru oțeluri înalt aliate.

Debitul specific de turnare se determină în funcție de densitatea relativă a piesei turnate, tabelul 4.7.

Tabelul 4.7.

Valorile debitului specific de turnare pentru oțeluri

Densitatea relativă [kg/dm <sup>3</sup> ]	0... 1,0	1,1... 2,0	2,1... 3,0	3,1... 4,0	4,1... 5,0	5,1... 6,0	6,1... 7,0
- forme crude	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,90	0,95
- forme uscate	0,95	1,00	1,15	1,20	1,30	1,40	1,50

Densitatea relativă a piesei se calculează cu relația:

$$\rho_r = \frac{M_{pt}}{V} \quad [\text{kg/dm}^3],$$

în care:  $M_{pt}$  - masa piesei turnate, în kg;

$V$  - volumul gabaritic al piesei, în dm<sup>3</sup>.

După determinarea ariei secțiunii alimentatoarelor se calculează aria colectorului de zgură și aria piciorului de turnare pe baza rapoartelor caracteristice.

Forma și dimensiunile secțiunii elementelor rețelei de turnare sînt prezentate în tabelul 4.8.

4.5. Să se determine dimensiunile rețelei de turnare pentru o piesă din oțel, cu masa de 300 kg și grosimea de perete 60 mm, știind că masa maselotei reprezintă 30% din masa piesei. Turnarea are loc în sifon, iar piesa are înălțimea de 0,30 m. Se mai cunosc:

- înălțimea piciorului de turnare,  $H = 0,6$  m;
- densitatea oțelului lichid,  $\rho = 7000$  kg/m<sup>3</sup>;
- coeficientul de pierdere de viteză,  $\mu = 0,8$ .

Rezolvare:

Aria secțiunii alimentatorului se determină cu relația:

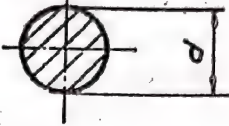
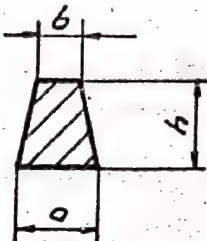
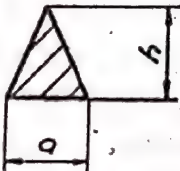
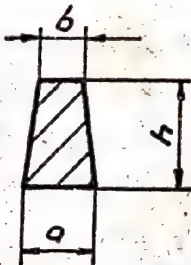
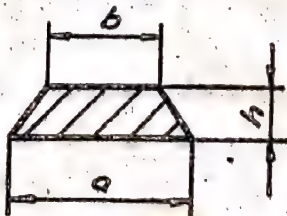
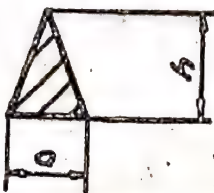
$$S_a = \frac{M}{v \rho t_{\text{tot}}}$$

$$M = M_{pt} + M_{rt} + M_m$$

Din tabelul 4.3 se adoptă  $M_{rt} = 0,08 M_{pt}$ .



Forma și dimensiunile secțiunii elementelor rețelilor de turnare pentru piese turnate din oțel.

Element	Formă secțiune	Schiță	Relații calcul
Piciorul pilnii	Circulară		$d = \sqrt{\frac{4 A_p}{3,14}}$
Colectorul de zgură	Trapez isoscel înalt		$a = \sqrt{\frac{A_c}{n}}$ $b = 0,8 a$ $h = 1,1 a$
	Triunghi isoscel		$a = \sqrt{\frac{2 \cdot A_c}{1,1 n}}$
Canalul de alimentare	Trapez isoscel înalt		$a = \sqrt{\frac{\Sigma A_a}{n}}$ $b = 0,8 a$ $h = 1,1 a$
	Trapez isoscel plat		$a = \sqrt{\frac{3 \cdot \Sigma A_a}{n}}$ $b = 0,9 a$ $h = 0,35 a$
	Triunghi isoscel		$a = \sqrt{\frac{2 \Sigma A_a}{1,1 n}}$ $h = 1,1 a$

$$M_{rt} = 0,08 \cdot 300 = 24 \text{ kg};$$

$$M_m = 0,3 \cdot 300 = 90 \text{ kg};$$

$$M = 300 + 24 + 90 = 414 \text{ kg}.$$

Turnarea avînd loc în sifon se poate folosi pentru calculul vitezei de curgere relația:

$$v = \frac{\mu \sqrt{2g(H-h)} + \mu \sqrt{2gH}}{2}.$$

$$v = \frac{0,8 \sqrt{2 \cdot 9,81 (0,6-0,3)} + 0,8 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,6}}{2} = 2,34 \text{ m/s}.$$

Pentru calculul timpului optim de umplere a formei, în funcție de grupa piesei turnate și grosimea de perete, se alege din tabelul 4.5,  $s = 0,75$ .

$$t_{tot} = s \sqrt[3]{\frac{M}{\rho}} = 0,75 \sqrt[3]{60 \cdot 414} = 21,9 \text{ s}.$$

$$S_a = \frac{414}{2,34 \cdot 7000 \cdot 21,9} = 0,001154 \text{ m}^2.$$

Pentru piese cu masa de 300 kg:

$$S_p : S_{cz} : S_a = 1,3 : 1,15 : 1.$$

$$S_{cz} = 1,15 S_a = 13,27 \text{ cm}^2;$$

$$S_p = 1,3 S_a = 15,00 \text{ cm}^2.$$

Dimensionarea elementelor rețelelor de turnare se face pe baza datelor din tabelul 4.8.

Diametrul piciorului de turnare la partea inferioară:

$$d_{p_0} = \sqrt{\frac{4 S_p}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 15}{\pi}} = 4,37 \text{ cm}.$$

Pe baza legii continuității se determină diametrul piciorului la partea superioară:

$$d_p = d_{p_0} \sqrt[4]{\frac{H}{h_p}} = 4,37 \sqrt[4]{\frac{60}{10}} = 6,84 \text{ cm}.$$

Pentru forma colectorului de zgură prevăzut cu două alimentatoare se adoptă un trapez isoscel înalt:

2.1.3.

$$a = \sqrt{\frac{S_{cz}}{n}} = \sqrt{\frac{13,27}{2}} = 2,58 \text{ cm};$$

$$b = 0,8 a = 0,8 \cdot 2,58 = 2,07 \text{ cm};$$

$$h = 1,1 a = 1,1 \cdot 2,58 = 2,84 \text{ cm}.$$



Pentru canalul de alimentare se adoptă un trapez isoscel înalt:

$$a = \sqrt{\frac{S_a}{n}} = \sqrt{\frac{11,54}{2}} = 2,4 \text{ cm};$$

$$b = 0,8 a = 0,8 \cdot 2,4 = 1,92 \text{ cm};$$

$$h = 1,1 a = 1,1 \cdot 2,4 = 2,64 \text{ cm}.$$

x  
x x

4.6. Să se dimensioneze rețeaua de turnare a unei piese din oțel cu masa de 94 kg și grosimea medie a pereților de 22 mm. Greutatea maselotelor reprezintă 22% din masa piesei. Turnarea are loc în forme crude în poziție verticală prin suprafața de separație. Se mai cunosc:

- înălțimea piciorului de turnare,  $H = 240 \text{ mm}$ ;
- înălțimea piesei,  $h = 286 \text{ mm}$ ;
- înălțimea piesei în semiforma superioară,  $h_1 = 186 \text{ mm}$ ;
- coeficientul de pierdere de viteză,  $\mu = 0,7$ ;
- densitatea oțelului în stare lichidă,  $\rho = 7000 \text{ kg/m}^3$ .

Rezolvare:

Din tabelul 4.3. se adoptă  $M_r = 0,12 M_{pt}$ .

$$M_{rt} = 0,12 \cdot 94 = 11,3 \text{ kg};$$

$$M_m = 0,22 \cdot 94 = 20,7 \text{ kg};$$

$$M = 94 + 11,3 + 20,7 = 126 \text{ kg}.$$

Din tabelul 4.5 pentru piese cu grosimea de perete 22 mm, turnate în forme crude în poziție verticală se adoptă  $s = 1,00$

$$t_{tot} = s \sqrt[3]{\rho_0 M} = 1,00 \sqrt[3]{22 \cdot 126} \approx 14 \text{ s}.$$

Pentru calculul vitezei de curgere în secțiunea alimentatorului se folosește relația lui Dietrich:

$$v = \mu \sqrt{2 g H_c}.$$

$$H_c = H - \frac{h_1^2}{2h} = 0,240 - \frac{0,186^2}{2 \cdot 0,286} = 0,1795 \text{ m};$$

$$v = 0,7 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,1795} = 1,3 \text{ m/s}.$$

$$S_a = \frac{M}{\rho v t_{tot}} = \frac{126}{7000 \cdot 1,3 \cdot 14} = 0,000989 \text{ m}^2 = 9,89 \text{ cm}^2.$$

$$S_{cz} = 1,15 S_a = 11,37 \text{ cm}^2;$$

$$S_p = 1,3 S_a = 12,86 \text{ cm}^2.$$

x  
x x

4.7. Să se determine dimensiunile rețelei de turnare pentru o piesă turnată din oțel crom nichel cu 1,1% Cr și 3% Ni, cu masa de 144 kg, cunoscându-se dimensiunile de gabarit ale piesei de 500 x 400 x 200 mm și grosimea de perete 32 mm. Turnarea se face în forme crude. Masa maselotei și a rețelei de turnare reprezintă 30% din masa piesei. Se consideră  $s = 1,10$ .

Rezolvare:

Pentru determinarea ariei secțiunii alimentatorului se folosește relația:

$$S_a = \frac{M}{t_{tot} k_s L}.$$

$$M = 144 + 0,3 \cdot 144 = 187,2 \text{ kg};$$

$$t_{tot} = s \sqrt[3]{\frac{M}{\rho_0}} = 1,1 \cdot \sqrt[3]{\frac{187,2}{7,8}} = 2,0 \text{ s}.$$

Pentru determinarea debitului specific de turnare se calculează densitatea relativă:

$$\rho_r = \frac{M_{pt}}{V} = \frac{144}{5 \cdot 4 \cdot 2} = 3,6 \text{ kg/dm}^3.$$

Din tabelul 4.7 se adoptă pentru  $\rho_r = 3,6 \text{ kg/dm}^3$ ,  $k_s = 0,75 \text{ kg/cm}^2 \text{ s}$ .

Pentru oțelul cu 1,1 Cr și 3% Ni,  $L = 0,9$ .

$$S_a = \frac{187,2}{2,0 \cdot 0,75 \cdot 0,9} = 13,87 \text{ cm}^2;$$

$$S_{cz} = 1,15 S_a = 1,15 \cdot 13,87 = 15,95 \text{ cm}^2;$$

$$S_p = 1,3 S_a = 1,3 \cdot 13,87 = 18,03 \text{ cm}^2.$$

x  
x x

4.8. Să se determine înălțimea colectorului de ngură astfel încât la turnarea oțelului să nu apară pericolul intrării în cavitatea formei a eventualelor incluziuni, cunoscându-se:

- înălțimea piciorului de turnare și a pîlniei,

$$H = 300 \text{ mm};$$



- lungimea canalului colector pe porțiunea picior pri-  
mul alimentator,  $l_{cz} = 0,150 \text{ m}$ ;
- raza particulelor de incluziuni,  $r_1 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ ;
- densitatea oțelului lichid,  $\rho_{\text{oțel}} = 7000 \text{ kg/m}^3$ ;
- densitatea incluziunii,  $\rho_1 = 1700 \text{ kg/m}^3$ ;
- vâscozitatea dinamică a oțelului,  $\eta = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Na/m}^2$ ;
- coeficientul de pierdere de viteză,  $\mu = 0,7$ .

Se consideră că viteza în canalul colector de zgură este egală cu viteza la baza piciorului de turnare.

Rezolvare:

Condiția necesară pentru ca incluziunile să nu pătrun-  
dă în cavitatea formei este ca timpul  $\tau_{cz}$  de trecere a particu-  
lei prin colector să fie mai mare de-  
cît timpul  $\tau_a$  de ascensiune a parti-  
culei pe o înălțime egală cu cea a  
alimentatorului.

$$\tau_{cz} > \tau_a ;$$

$$\frac{l_{cz}}{v_{cz}} > \frac{h_a}{v_a} ,$$

$$h_a < \frac{l_{cz} v_a}{v_{cz}} ,$$

unde:  $h_a$  - înălțimea alimentatorului;

$v_a$  - viteza de ascensiune a incluziunilor.

$$v_a = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho_{\text{oțel}} - \rho_1}{\eta} = \frac{2}{9} \cdot 9,81 \cdot (4 \cdot 10^{-4})^2 \frac{7000 - 1700}{5 \cdot 10^{-3}} = 0,37 \text{ m/s} .$$

$$v_{cz} = \mu \sqrt{2 g H} = 0,7 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,3} = 1,7 \text{ m/s} .$$

$$h_a < \frac{0,15 \cdot 0,37}{1,7} \Rightarrow h_a < 0,032 \text{ m} .$$

Înălțimea canalului colector de zgură va trebui să fie  
mai mare ca 32 mm.

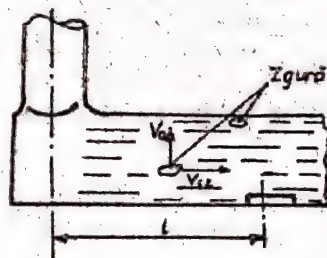


Fig. 4.13. Separarea inclu-  
ziunilor exogene în  
colectorul de zgură

x

x x

4.9. Să se determine raza particulelor de zgură care nu se  
pot separa într-un colector de zgură al unei rețele convergente  
utilizate pentru turnarea unei piese din oțel, cunoscându-se:



înălțimea piciorului și a pilniei de turnare,

$H = 400 \text{ mm}$ ;

- lungimea canalului între piciorul de turnare și primul alimentator,  $l_{oz} = 250 \text{ mm}$ ;
- înălțimea colectorului de zgură,  $h_{cz} = 30 \text{ mm}$ ;
- densitatea oțelului,  $\rho_o = 7100 \text{ kg/m}^3$ ;
- densitatea incluziunilor de zgură,  $\rho_i = 3500 \text{ kg/m}^3$ ;
- viscozitatea dinamică  $\eta = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$ ;
- coeficientul de pierdere de viteză,  $\mu = 0,7$ .

Rezolvare:

Se consideră viteza de curgere a oțelului la baza piciorului de turnare egală cu viteza de curgere în canalul colector de zgură.

$$v_{oz} = \mu \sqrt{2 g H} = 0,7 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,4} = 1,96 \text{ m/s.}$$

Decarece pentru separarea particulelor de zgură  $v_{cz} > v_a$  la echilibru avem:

$$\frac{l_{cz}}{v_{cz}} = \frac{h_{cz}}{v_a}$$

$$v_a = \frac{v_{cz} \cdot h_{cz}}{l_{cz}} = \frac{1,96 \cdot 0,03}{0,25} = 0,24 \text{ m/s.}$$

$$v_a = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho_o - \rho_i}{\eta} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{9 \eta v_a}{2 g (\rho_o - \rho_i)}}$$

$$r = \sqrt{\frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,24}{2 \cdot 9,81 (7100 - 3500)}} = 0,0003 \text{ m.}$$

Particulele de zgură care nu se pot separa vor avea  $r < 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ .

x

x x

#### 4.2.2. Dimensionarea rețelelor de turnare divergente

Una din dificultățile cele mai mari care apar la dimensionarea rețelelor de turnare în cazul turnării oțelului din oale cu dop, constă în variația debitului de turnare. Acesta este maxim la începutul turnării și se micșorează pe măsură ce oala se golește. În același timp după cum s-a arătat în 4.1.3, debitul de turnare depinde și de diametrul orificiului de turnare (eva-



cuare). În figura 4.14 se prezintă nomograma de variație a vitezei de turnare a oțelului, debitul masic, în funcție de înălțimea acestuia în oală pentru diferite diametre ale orificiului de evacuare.

În cazul turnării oțelului din oale cu dop se recomandă utilizarea rețelelor divergente, cu toate dezavantajele, deoarece la sistemele convergente nu se poate realiza o reglare a vitezei de turnare.

Pe baza datelor experimentale obținute din turnătorii se recomandă utilizarea următoarelor rapoarte caracteristice:

$$S_p : S_{cz} : S_a = 1 : 1,5 : 2$$

În general se recomandă ca aria piciorului de turnare să fie mai mare sau cel puțin egală cu aria secțiunii orificiului de evacuare a oalei de turnare.

La calculul pentru dimensionarea rețelelor de turnare divergente se utilizează relația

$$S = \frac{M}{v \xi t_{tot}} \quad (4.47)$$

unde:  $S$  - aria secțiunii minime a rețelei de turnare, aria secțiunii piciorului, în  $m^2$ ;

$v$  - viteza de curgere a oțelului lichid prin aria minimă a rețelei, în  $m/s$ ;

$M$  - masa totală de aliaj lichid, în  $kg$ ,

$$M = M_{pt} + M_{rt} + M_m;$$

$\xi$  - densitatea oțelului lichid, în  $kg/m^3$ ;

$t_{tot}$  - timpul total de turnare, în  $s$ .

Pentru calculul vitezei de curgere a oțelului prin aria minimă a rețelei se are în vedere că:

$$v = \mu v_t$$

unde:  $\mu$  - coeficientul de pierdere de viteză;

$v_t$  - viteza teoretică de curgere, în  $m/s$ .

La calculul rețelelor de turnare se poate accepta cu suficientă precizie că valorile coeficientului  $\mu$  sînt constante pentru diferite tipuri de rețele de turnare. Valorile coeficientului de pierdere de viteză sînt prezentate în tabelul 4.8.



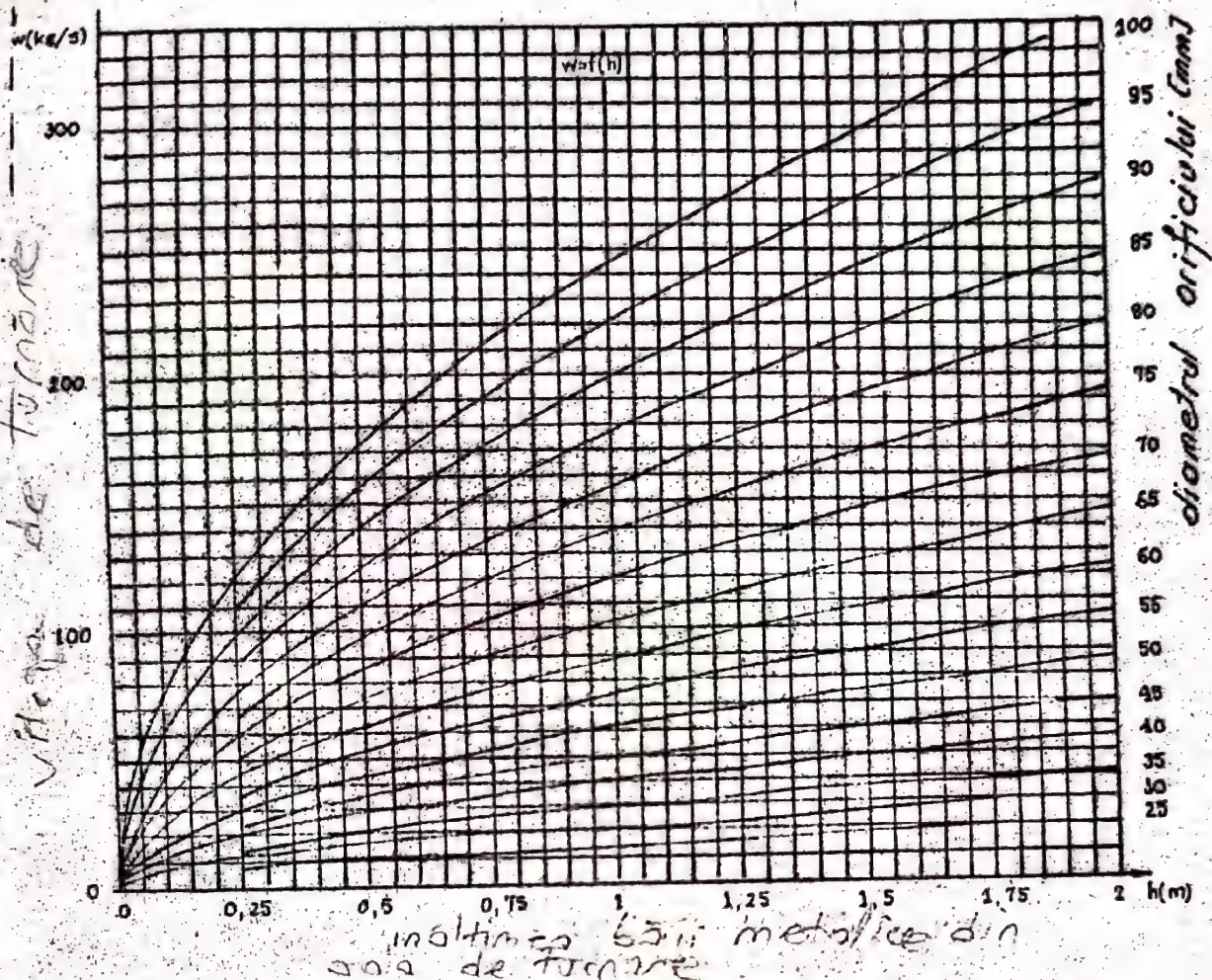


Fig.4.14. Viteza de turnare în funcție de înălțimea băii metalice în oala de turnare și diametrul orificiului de evacuare

Tabelul 4.9

COEFICIENTUL DE PIERDERE DE VITEZA

TIP RETEA	DIVERGENT		
	1, 1,2 ; 1,5	1, 1,5 ; 2	1, 2 ; 4
	0,4	0,5	0,6
	0,6	0,7	0,8
	0,8	0,8	0,8



Viteza teoretică de curgere prin aria minimă a rețelei se determină cu relația:

$$v_t = \sqrt{2g} \left[ \sqrt{h_n} - \frac{h_1}{2h_0} (\sqrt{h_n} - \sqrt{h_n - h_1}) \right], \quad (4.48)$$

unde:  $h_n$  - înălțimea nominală de turnare, în m. Reprezintă distanța dintre suprafața băii de oțel din oală și aria minimă a rețelei de turnare;

$h_0$  - înălțimea piesei turnate, în m;

$h_1$  - înălțimea deasupra ariei minime a rețelei de turnare, pînă la suprafața superioară a piesei, în m;

$g$  - accelerația gravitațională, în  $m/s^2$ .

Pentru determinarea vitezei de curgere se poate folosi și nomograma din figura 4.15 unde este dată corelația  $v_t = f(h_n)$  pentru diferite rapoarte  $h_1/h_0$ . Nomograma poate fi utilizată atât în cazul turnării oțelului din oale cu dop cît și din oale cu cioc.

Determinarea timpului total de turnare, timpul necesar pentru umplerea piesei turnate, maselotelor și rețelelor de turnare, reprezintă termenul cel mai dificil de calculat.

Pentru calculul timpului de turnare a piesei se poate utiliza relația:

$$t = 0,51 M_{pt}^{0,56}, \quad (4.49)$$

relație obținută pe baza analizei de regresie. Dispersia lui  $t$  s-a determinat a fi 1,4, adică timpul de turnare variază între 1,4 și  $\frac{1}{1,4} = 0,7$  din timpul de turnare care se obține pe baza relației (4.49). Aceasta înseamnă că în relația (4.49) factorul 0,51 variază între 0,71...0,36, figura 4.17.

În aceste condiții pentru calculul timpului total de turnare se are în vedere relația:

$$t_{tot} = \frac{M}{M_{pt}} \cdot t = \frac{M}{M_{pt}} \cdot 0,51 M_{pt}^{0,56}. \quad (4.50)$$

Relația (4.50) este valabilă în cazul în care maselota și rețeaua de turnare sînt plasate deasupra piesei turnate.

Pentru determinarea timpului total de turnare se pot utiliza cu bune rezultate și nomogramele din figura 4.16 și figura 4.17 care ne dau valorile timpului de turnare a piesei în funcție de masa acesteia.



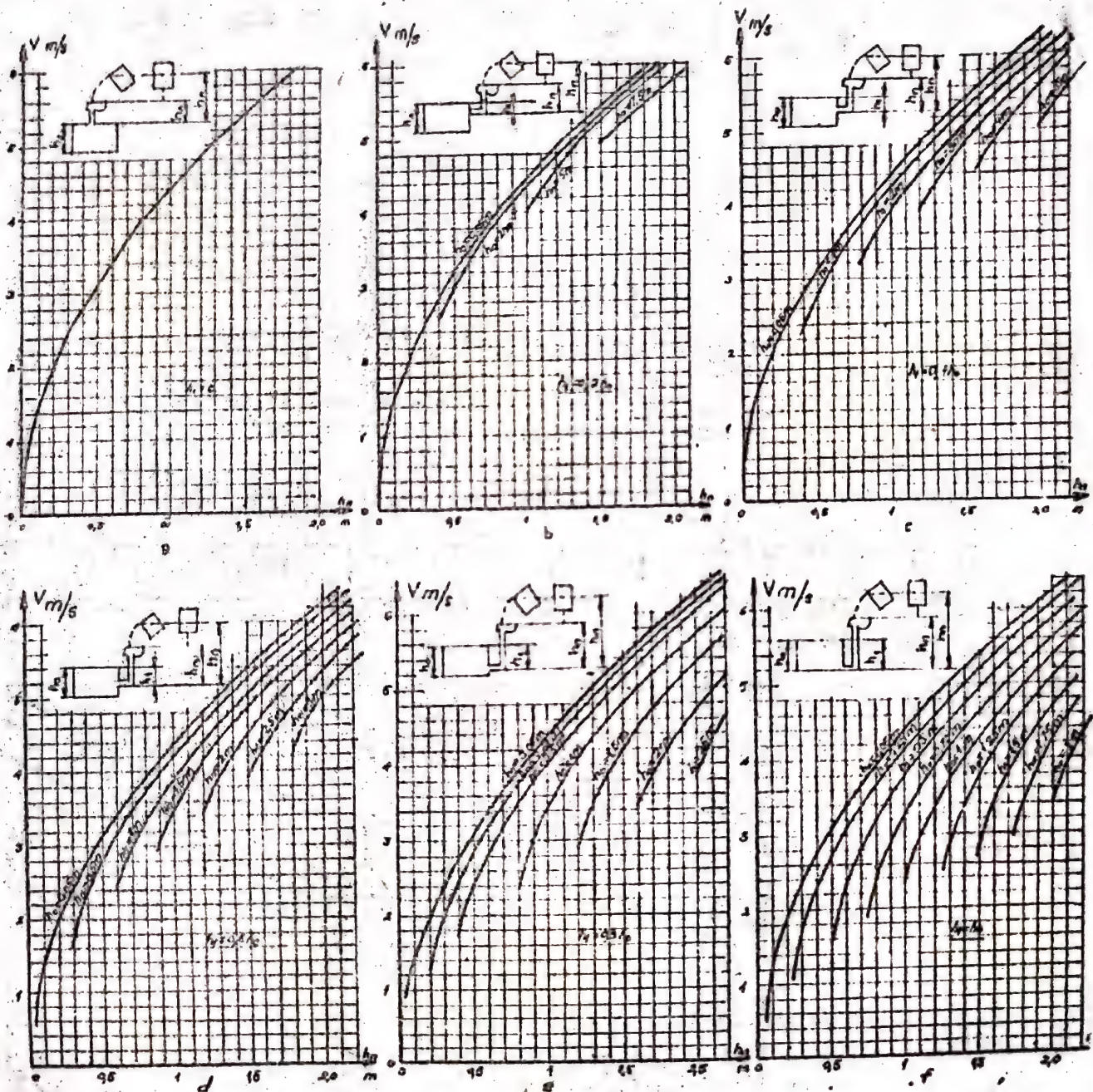


Fig.4.15. Nomograma pentru determinarea vitezei fără pierderi în secțiunea minimă



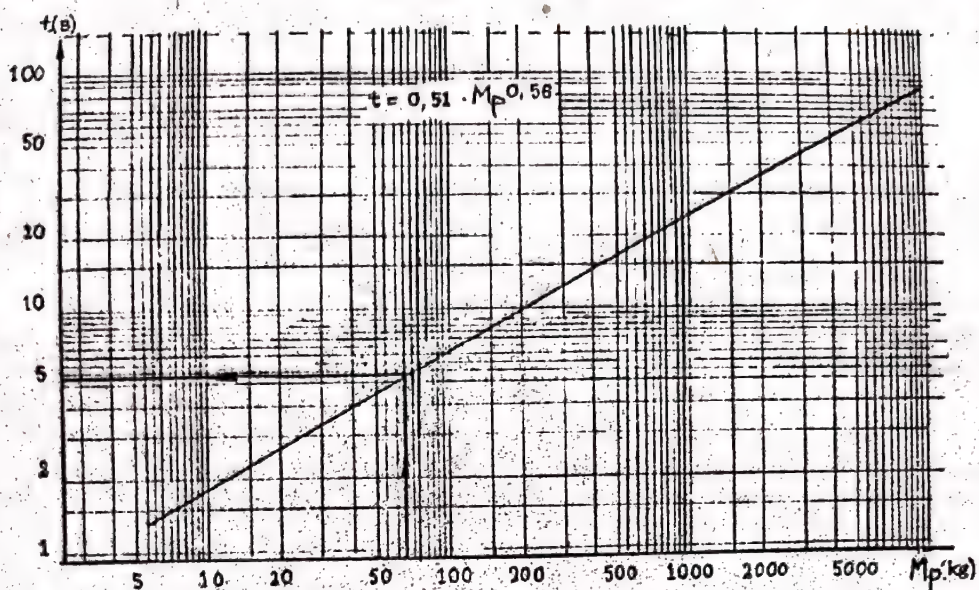


Fig.4.16. Nomogramă pentru determinarea timpului de turnare în funcție de masa piesei

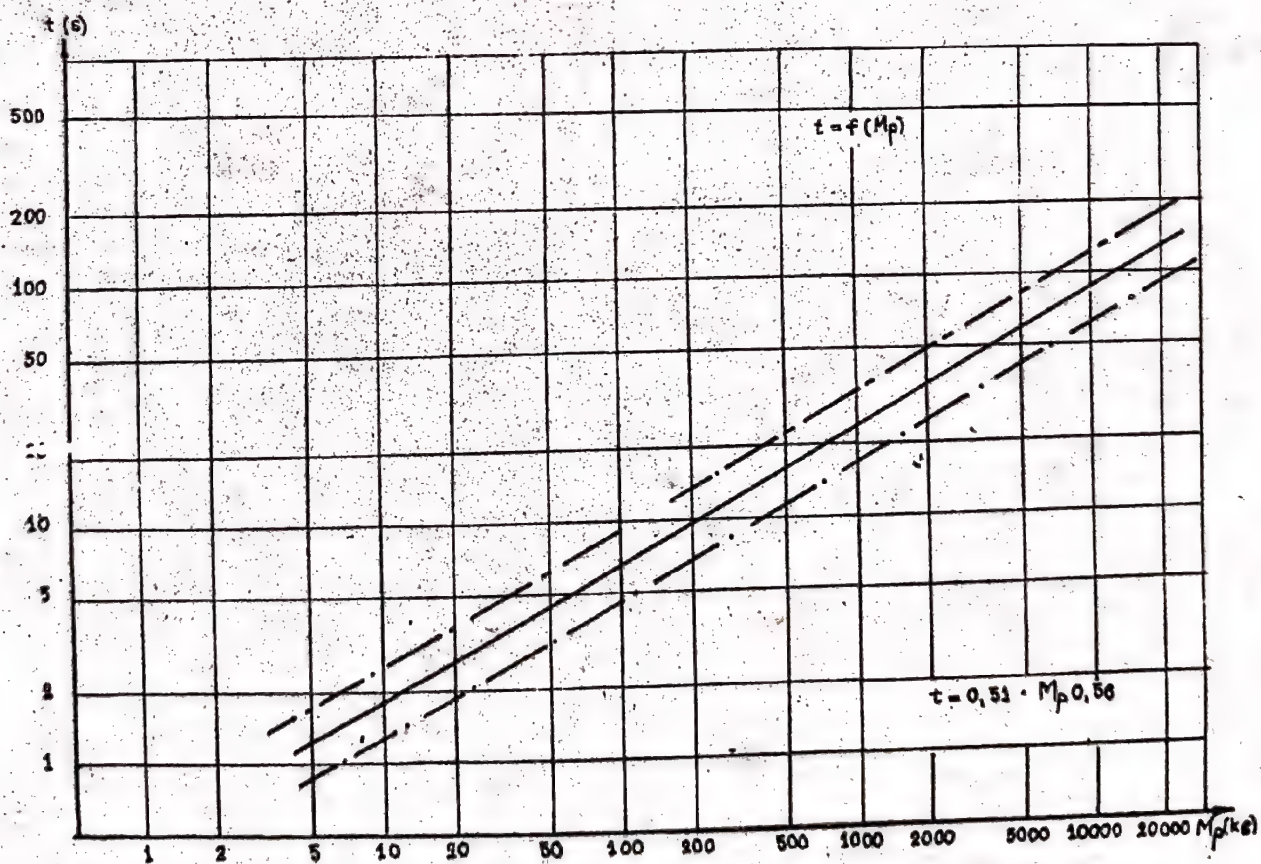


Fig.4.17. Nomogramă pentru determinarea timpului de turnare în funcție de masa piesei



Dimensionarea rețelilor de turnare divergente Tabelul 4.10.

Aria minimă a rețelei de turnare [mm] <sup>2</sup>	Colectorul de zgură				Alimentatorul						Dimensiunea caracteristică (σ) pentru secțiune trapezoidală [mm]			
	secțiune trapezoidală a-dimensiune caracteristică		secțiune circulară diametrul		Diametrul alimentator pentru secțiune circulară [mm]			Diametrul alimentator pentru secțiune circulară [mm]						
	simplu	dublu	simplu	dublu	n=1	n=2	n=3	n=4	n=1	n=2	n=3	n=4	n=6	n=8
< 160	9	7	20	15	—	—	—	—	14	9	7	5	—	—
160 - 320	14	9	25	20	—	—	—	—	14	14	9	7	—	5
320 - 480	16	11	30	25	35	25	—	—	19	14	14	9	—	7
480 - 720	19	14	40	25	40	30	25	—	22	16	14	14	9	7
720 - 960	22	16	45	30	50	35	30	25	26	19	14	14	14	9
960 - 1200	26	19	50	40	60	40	35	30	34	22	16	14	14	14
1200 - 1620	34	22	60	45	70	50	40	35	35	26	22	19	14	14
1620 - 2880	39	26	70	50	90	60	50	40	44	34	26	22	19	16
2880 - 3840	44	34	90	60	—	70	60	50	50	35	34	26	22	19
3840 - 4800	50	35	100	70	—	80	70	60	57	39	35	34	22	22
4800 - 6400	57	39	110	80	—	90	80	70	63	44	39	35	26	22
6400 - 7690	63	44	120	90	—	100	80	70	70	50	44	35	34	26
7690 - 9600	70	50	130	100	—	110	90	80	80	57	44	39	34	26





În cazul în care se cunoaște înălțimea băii de oțel lichid din oala de turnare și diametrul orificiului de evacuare, pe baza nomogramei din figura 4.14, se poate determina aria minimă a rețelei de turnare cu relația:

$$S_p = \frac{W}{\rho \mu v_t} \quad [m^2], \quad (4.51)$$

$$\text{unde: } W = \frac{M}{t_{tot}} \quad [kg/s]. \quad (4.52)$$

Cunoscând aria minimă a rețelei de turnare se alege din tabelul 4.10 dimensiunile corespunzătoare elementelor componente ale rețelei.

4.10. Să se dimensioneze rețeaua de turnare pentru piesa din figura 4.18 cunoscând masa piesei 65 kg. Maselota și rețeaua de turnare cîntăresc 25 kg. Turnarea oțelului se face dintr-o oală cu dop, nivelul inițial al oțelului în oală fiind de 400 mm.

Rezolvare:

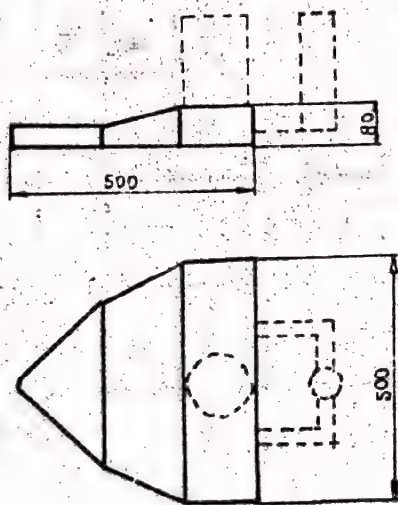


Fig. 4.18. Piesa pentru turnare.

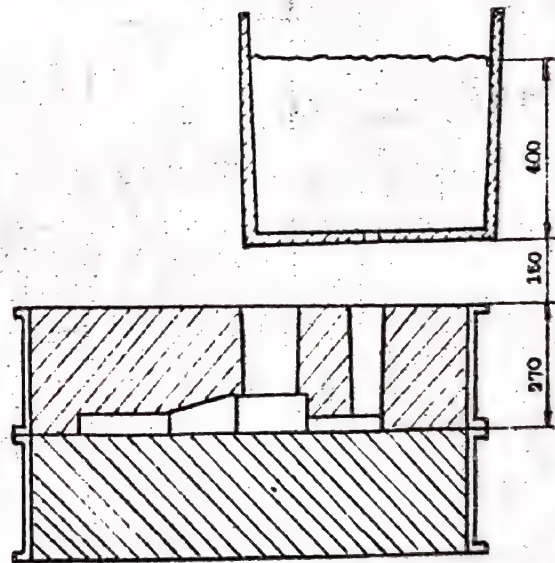


Fig. 4.19. Poziția piesei în formă la turnare.

Sistemul de turnare se alege cu picior de turnare, colector de zgură trapezoidal și două alimentatoare trapezoidale. Se consideră  $S_p : S_{co} : S_a = 1 : 1,5 : 2$ .

Piesa are masele plasată la partea superioară.

Aria secțiunii minime a rețelei de turnare, aria secțiunii piciorului de turnare, se determină cu relația:

$$S_p = \frac{W}{\rho \mu v_t}$$

$$W = \frac{M}{t_{tot}}$$

$$M = M_{pt} + M_{rt} + M_m = 65 + 25 = 90 \text{ kg.}$$

Din nomograma din figura 4.16 se obține pentru o piesă cu masa de 65 kg, timpul de turnare a piesei,  $t = 5,3 \text{ s.}$

Timpul total de turnare este:

$$t_{tot} = \frac{M}{M_p} t = \frac{65 + 25}{65} \cdot 5,3 = 7,4 \text{ s.}$$

$$W = \frac{90}{7,4} = 12,16 \text{ kg/s.}$$

Pentru determinarea vitezei teoretice de curgere se utilizează nomograma din figura 4.15. Din figurile 4.18 și 4.19 se determină  $h_1 = 0,08 \text{ m}$ ,  $h_0 = 0,08 \text{ m}$  și  $h_n = 0,82 \text{ m.}$

Din nomograma 4.15.f, se obține viteza teoretică de curgere în secțiunea minimă  $v_t = 3,9 \text{ m/s.}$

Pentru sistemul de alimentare ales se obține din tabelul 4.9 coeficientul de pierdere de viteză  $\mu = 0,5.$

$$S_p = \frac{12,16}{7100 \cdot 0,15 \cdot 3,9} = 0,000878 \text{ m}^2 = 878 \text{ mm}^2.$$

Din tabelul 4.10 pentru aria minimă a rețelei de turnare cuprinsă între  $720-960 \text{ mm}^2$  se aleg dimensiunile corespunzătoare pentru elementele componente ale rețelei:

- piciorul de turnare,  $d_p = 35 \text{ mm};$
- colector de zgură trapezoidal,  $a = 16 \text{ mm};$
- alimentatoare trapezoidale,  $a = 35 \text{ mm.}$

x  
x x

#### 4.2.3. Alte metode pentru determinarea timpului total de turnare

##### a) Metoda Czikel și Diepschlag

Metoda propusă de Czikel și Diepschlag pornește de la premiza ca determinarea timpului de turnare a piesei turnate



luându-se în considerare numai masa piesei turnate este încorectă. Pentru determinarea timpului de turnare, această metodă se bazează pe viteza de transmitere a căldurii prin pereții formei de turnare:

$$t = \frac{m}{\xi} \quad [s], \quad (4.53)$$

unde:  $m$  - modulul de solidificare al piesei;

$\xi$  - viteza de transmitere a căldurii prin unitatea de suprafață;

$t$  - timpul de turnare, în s.

Valorile vitezei de transmitere a căldurii au fost determinate pe bază de încercări practice. Prin introducerea acestor valori în relația (4.53) s-au obținut pentru calculul timpului de turnare următoarele relații:

$t = \int_0 - 4$  - pentru piese turnate în forme crude din amestec, cu grosimi de perete cuprinse între 8-30 mm;

$t = 1,25 \int_0$  - pentru piese turnate în forme uscate din amestec, cu grosimi de perete mai mari de 20 mm,

unde:  $\int_0$  - grosimea de perete a piesei, în mm.

#### b) Nomograma Czikel

Pentru aplicații practice Czikel a construit o nomogramă, figura 4.20, pe baza căreia luându-se în considerare grosimea peretelui piesei, masa piesei și indicele de scoatere se pot determina timpul de turnare, viteza de turnare și timpul de solidificare. De asemenea din nomogramă se poate aprecia tipul de oală de turnare recomandat.

În partea stângă a diagramei pe axa verticală se poate determina timpul de turnare, în cazul turnării oțelului în forme crude sau uscate din amestec, în funcție de grosimea peretelui piesei. Curba punctată din partea stângă a diagramei ne indică timpul de solidificare pe baza formulei lui Chworinoff.

În partea dreaptă a nomogramei, pe diagonală se poate determina viteza de turnare, în kg/s. De asemenea se prezintă o serie de date referitoare la alegerea oalei de turnare.

În partea de jos a nomogramei este reprezentat timpul total de umplere a formei luându-se în considerare indicele de scoatere la turnare.

luându-se în considerare numai masa piesei turnate este încorectă. Pentru determinarea timpului de turnare, această metodă se bazează pe viteza de transmitere a căldurii prin pereții formei de turnare:

$$t = \frac{m}{\xi} \quad [s]; \quad (4.53)$$

unde:  $m$  - modulul de solidificare al piesei;

$\xi$  - viteza de transmitere a căldurii prin unitatea de suprafață;

$t$  - timpul de turnare, în s.

Valorile vitezei de transmitere a căldurii au fost determinate pe bază de încercări practice. Prin introducerea acestor valori în relația (4.53) s-au obținut pentru calculul timpului de turnare următoarele relații:

$t = \delta_0 - 4$  - pentru piese turnate în forme crude din amestec, cu grosimi de perete cuprinse între 8-30 mm;

$t = 1,25\delta_0$  - pentru piese turnate în forme uscate din amestec, cu grosimi de perete mai mari de 20 mm,

unde:  $\delta_0$  - grosimea de perete a piesei, în mm.

#### b) Nomograma Czikel

Pentru aplicații practice Czikel a construit o nomogramă, figura 4.20, pe baza căreia luându-se în considerare grosimea peretelui piesei, masa piesei și indicele de scoatere se pot determina timpul de turnare, viteza de turnare și timpul de solidificare. De asemenea din nomogramă se poate aprecia tipul de oală de turnare recomandat.

În partea stângă a diagramei pe axa verticală se poate determina timpul de turnare, în cazul turnării oțelului în forme crude sau uscate din amestec, în funcție de grosimea peretelui piesei. Curba punctată din partea stângă a diagramei ne indică timpul de solidificare pe baza formulei lui Chworinoff.

În partea dreaptă a nomogramei, pe diagonală se poate determina viteza de turnare, în kg/s. De asemenea se prezintă o serie de date referitoare la alegerea oalei de turnare.

În partea de jos a nomogramei este reprezentat timpul total de umplere a formei luându-se în considerare indicele de scoatere la turnare.



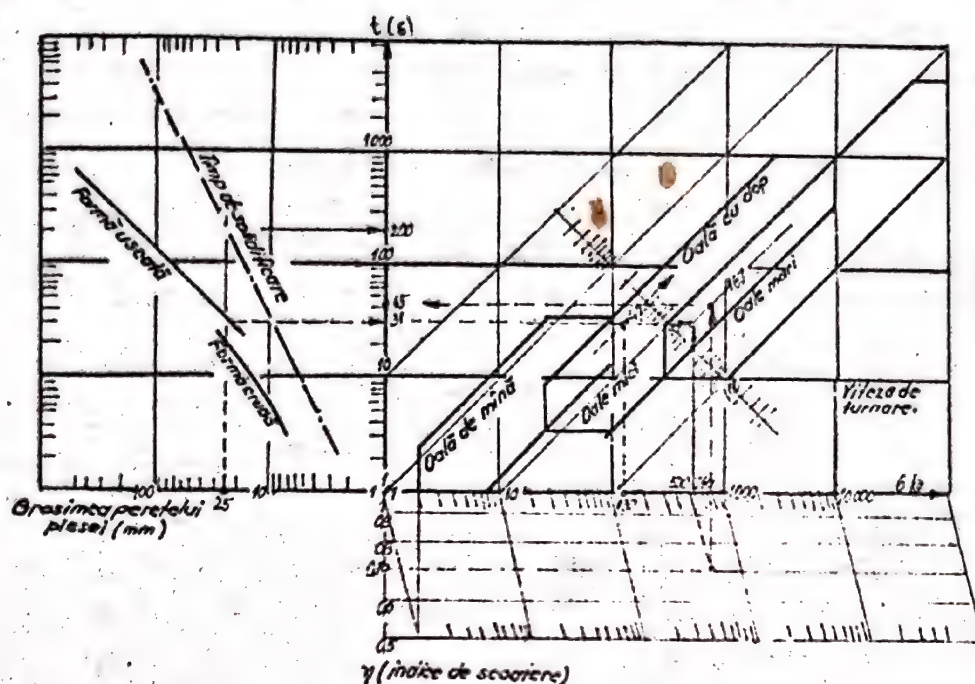


Fig. 4.20. Nomograma Czikel pentru determinarea timpului de turnare.

4.11. Să se calculeze timpul total pentru turnarea a 4 piese din oțel carbon cu masa de 130 kg/buc și grosimea de perete 25 mm. Turnarea se face în forme uscate din amestec utilizându-se o singură rețea de turnare. Indicele de scoatere este de 70%.

Rezolvare:

Pe baza nomogramei din figura 4-20 se obține pentru o grosime de perete de 25 mm în cazul turnării în forme uscate din amestec un timp de turnare al piesei de 31 s. Timpul de solidificare corespunzător este de 200 s.

Prin deplasarea pe orizontala de la 31 s, până la intersecția cu verticala ce corespunde unei mase a piesei de 130 kg se obține viteza de turnare pentru o piesă, de 4,2 kg/s. Viteza de turnare pentru cele 4 piese se obține la intersecția dintre verticala corespunzătoare unei mase de  $4 \times 130 = 520$  kg și orizontala de la 31 s. Se determină un debit masic de turnare de 16,7 kg/s.

Pentru a se obține timpul total de umplere a formei, piesă + rețea de turnare + maselotă, se duce o paralelă de la punctul corespunzător unei mase de 520 kg pînă la intersecția cu orizontala pentru un indice de scoatere de 0,7. Din acest punct se ridică o verticală și se obține o masă totală a formei turnate de 740 kg. În continuare, pe aceeași verticală la intersecția cu viteza de turnare de 16,7 kg/s se duce o orizontală spre stînga pînă la intersecția cu axa verticală a timpului de turnare. Se obține astfel un timp total de turnare a formei de 45 s.

x  
x x

#### c) Metoda Hess

Prin prelucrarea unor date din literatura de specialitate și a unor rezultate proprii, Hess propune pentru calculul timpului de turnare nomograma din figura 4.21.

Pentru utilizarea acestei nomograme este necesar să se cunoască:

- $M_s$  - masa acelei părți din piesa turnată care se alimentează în sifon, în kg;
- $M$  - masa piese turnate, în kg;
- $S$  - grosimea specifică de perete pentru partea alimentată în sifon, în mm

$$S = \frac{\text{volumul ocupat de masa } M_s}{\text{suprafața de răcire } M_s} ;$$

Conținutul de carbon al oțelului și temperatura de turnare;

$E$  - lungimea probei spirală utilizată la determinarea fluidității, în mm;

$A$  - coeficient cu valori cuprinse între 0,9...1,4 în funcție de neregularitățile pereților piesei. Pentru pereți plani se recomandă valori medii ale coeficientului  $A$ .

4.12. Să se determine timpul pentru turnarea unei piese din oțel cu un conținut de carbon de 0,25% la temperatura de 1470°C punoscîndu-se:



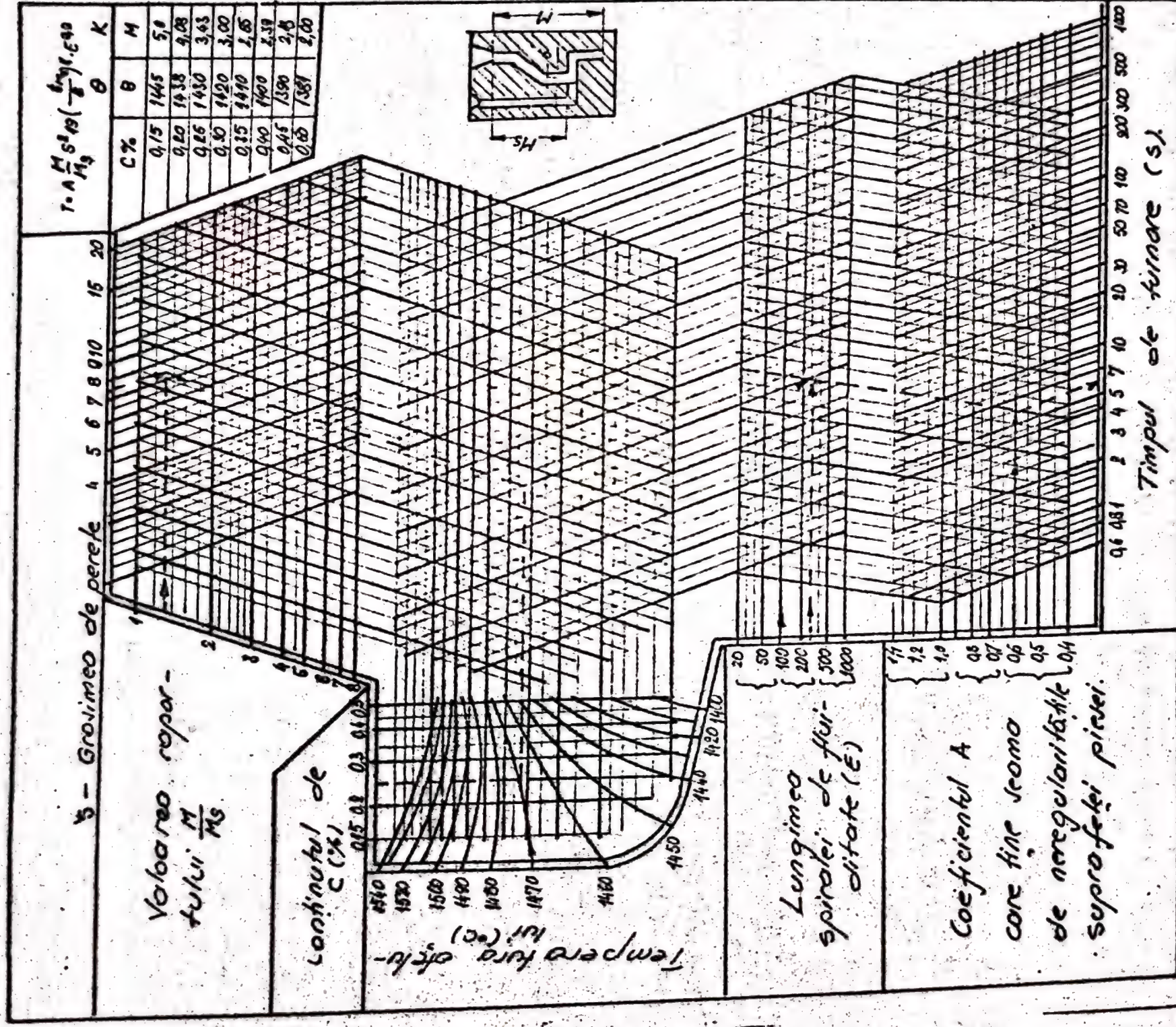


Fig. 4.21. Nomograma Hess.



$$S = 7,5 \text{ mm};$$

$$\frac{M}{M_s} = 1,3;$$

$$E = 300 \text{ mm};$$

$$A = 0,6$$

Rezolvare:

Prin utilizarea nomogramei din figura 4.21, liniile punctate din diagramă, se determină un timp de turnare  $t = 5,96 \text{ s}$ .

x  
x x

#### d) Metoda Jeancolas

Această metodă de calcul a timpului de turnare ia în considerare corelația care există între timpul de turnare și timpul de răcire al piesei. În figura 4.22 se prezintă timpul de răcire pînă la temperatura lichidus, determinat de Jeancolas, pentru diferite grosimi de perete supraîncălziri și aliaje. Grosimea de perete avută în vedere de Jeancolas este grosimea minimă de perete pe toată înălțimea piesei turnate. De exemplu pentru o grosime de perete de 7 mm și un grad de supraîncălzire de  $100^\circ\text{C}$  se obține pentru o piesă din oțel o durată de răcire de 1,35 s (linia punctată).

Pentru determinarea timpului de turnare în diferite cazuri, mai puțin turnarea directă, Jeancolas recomandă următoarele relații:

$$T \leq T_1, \quad (4.54)$$

unde:  $T$  - timpul de turnare;

$T_1$  - timpul de răcire pînă la temperatura lichidus.

La turnarea directă se recomandă relațiile:

$$T \leq 2 T_1; \quad (4.55)$$

$$T \leq 3 T_1. \quad (4.56)$$

Durata mai mare la turnarea directă se explică prin faptul că procesul de solidificare începe înainte de umplerea totală a formei.

Mărimea timpului de turnare  $T$ , nu va depăși o anumită valoare critică  $T_{or}$ , mărime la care începe formarea defectelor de suprafață. Valorile lui  $T_{or}$  sînt prezentate în tabelul 4.11.



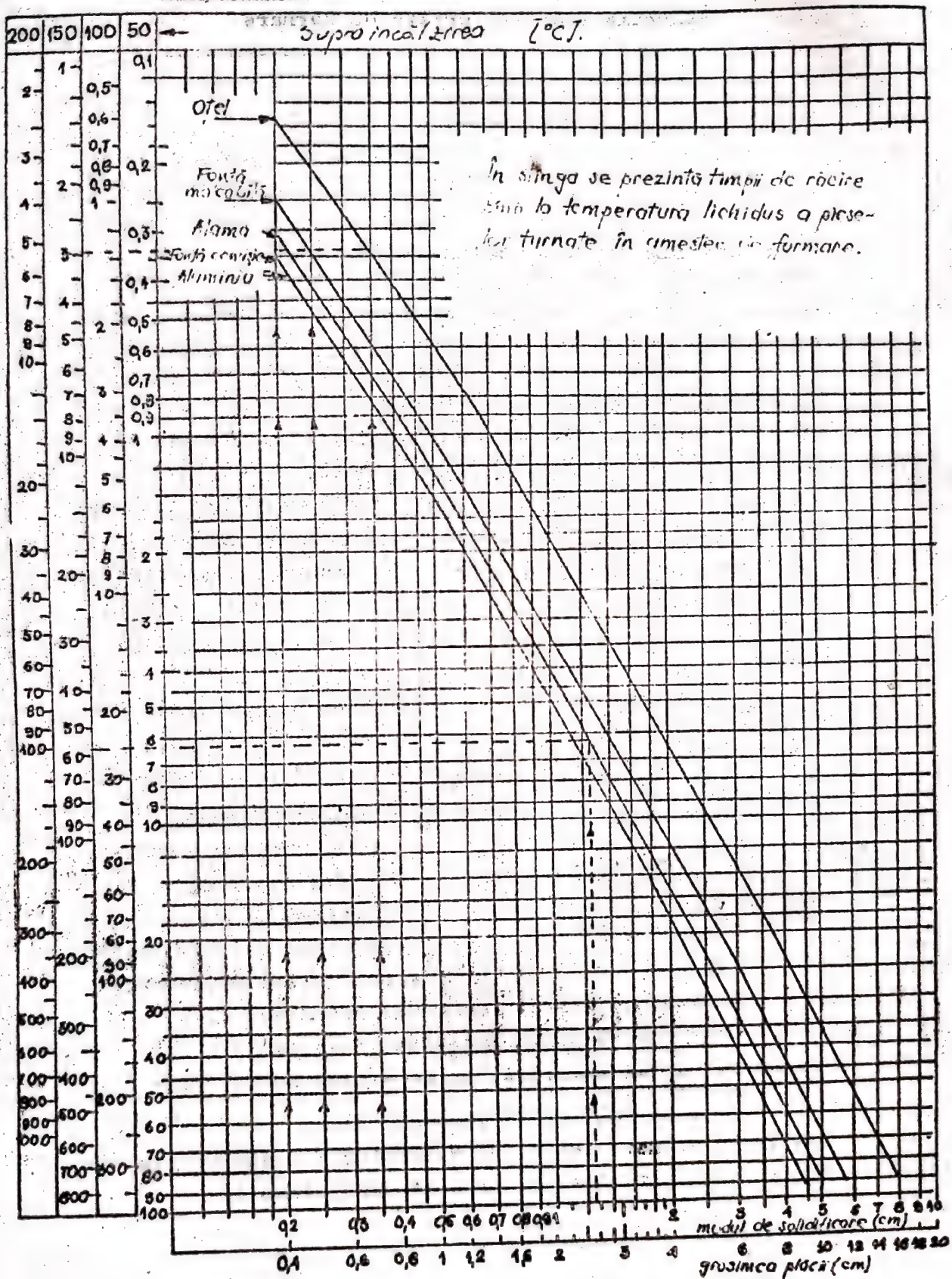


Figura 4.22. Nomograma Jean colos.



Tabelul 4.44.

Valorile timpului critic de turnare			
Amestec crud			
Nisip fin	Nisip cu granulatie mare	Amestec uscat	Amestec miez
3-5 s	3-12 s	15-30 s	20-60 s

#### 4.3. Mijloace de prevenire a retasurilor

Pentru prevenirea retasurilor la piesele turnate din oțel se folosesc maselote, răcitori interiori și exteriori, modificări constructive ale piesei.

##### 4.3.1. Dimensionarea maselotelor

Pentru dimensionarea maselotelor utilizate la piesele turnate din oțel se utilizează mai multe metode:

##### a) Metoda sferelor înscrise

Prin majorarea excesivă a diametrelor arcurilor înscrise se obține diametrul  $D$  care concide cu grosimea finală a peretelui piesei.

Înălțimea maselotei se determină cu relația:

$$H_m = d_0 + \alpha D, \quad (4.57)$$

unde:  $d_0$  - diametrul sferei de metal pentru compensarea contracției volumetrice;  
 $D$  - grosimea piesei turnate;  
 $\alpha$  - coeficient de formă,

$\alpha = 1,35$  pentru maselote deschise;

$\alpha = 0,85$  pentru maselote închise.

Diametrul  $D_m$  al maselotei se determină cu relația:

$$D_m = d_0 + D. \quad (4.58)$$

Valorile diametrului  $d_0$  se determină din diagramele din figurile 4.24 și 4.25 în funcție de dimensiunile piesei.

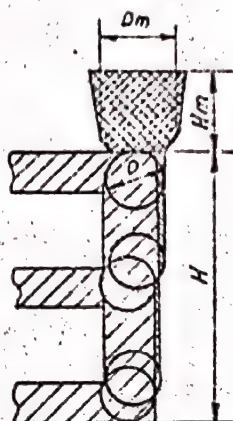


Fig. 4.23. Schemă de aplicare a metodei sferelor înscrise în vederea dimensionării maselotelor



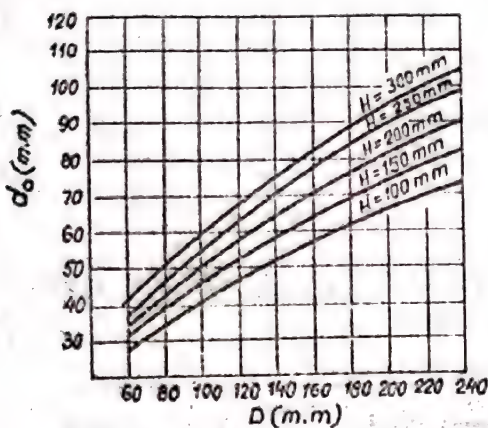


Fig. 4.24. Nomogramă pentru determinarea diametrului  $d_0$ , necesar calculului maselotelor la piesele cilindrice turnate din oțel.

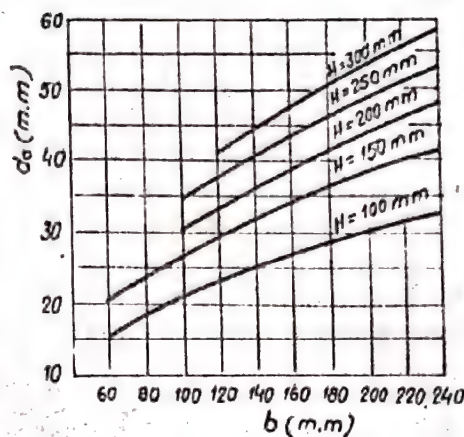


Fig. 4.25. Nomogramă pentru determinarea diametrului  $d_0$ , necesar calculului maselotelor la piesele din oțel cu secțiunea potrată sau dreptunghiulară (latura  $b$ )

În tabelele 4.42, 4.43, 4.44 sînt prezentate relațiile pentru calculul maselotelor pieselor plate și respectiv pieselor circulare cu secțiunea în formă de T. Valoarea  $V_0$  reprezintă volumul de metal al piesei care se alimentează cu maselota respectivă.

4.45. Să se dimensioneze maselota pentru o piesă cilindrică turnată din oțel carbon, OT 600-2, cu dimensiunile  $D = 200$  mm și  $H = 300$  mm, figura 4.26.

Rezolvare:

Volumul piesei turnate este:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} H$$

Datorită contracției la solidificare ( $\epsilon_{vs}$ ) volumul aliajului se va micșora cu o cantitate  $V_0$ :

$$V_0 = \frac{\epsilon_{vs}}{100} \cdot V = \frac{\epsilon_{vs}}{100} \cdot \frac{\pi D^2}{4} H$$

În tabelul 4.45 se prezintă valoarea contracției la solidificare.

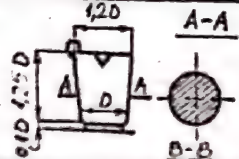
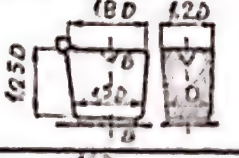
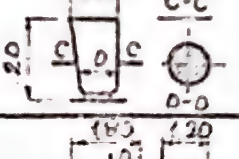
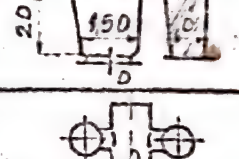
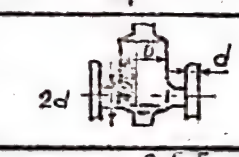
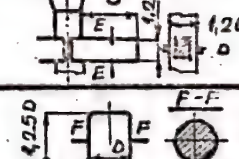


Tabelul 4.45.

Contracția oțelului la solidificare

Carbon, %	0,10	0,35	0,45	0,70
Contracția $\epsilon_{vs}$ , %	2,0	3,0	4,3	5,3

Tabelul 4.12

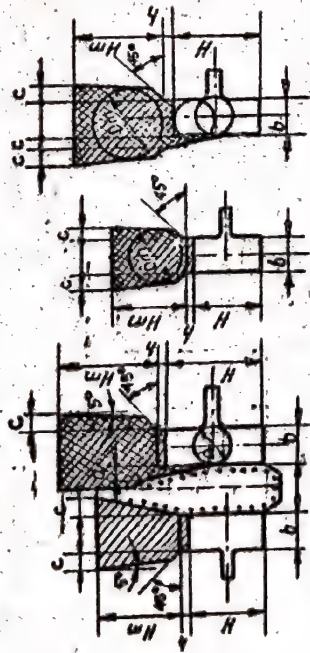
Formule pentru calculul maselelor pieselor plate.  
(R - raza nodului termic).

Elemente de aliere	Formule de calcul
<p>Maseletă conică închisă.</p> 	$D = 0,95 \sqrt[3]{220 R^3 + 3 \beta V_0}$
<p>Maseletă dreptunghiulară deschisă.</p> 	$D = 0,75 \sqrt[3]{280 R^3 + 3 \beta V_0}$
<p>Maseletă conică deschisă.</p> 	$D = 0,81 \sqrt[3]{570 R^3 + 3 \beta V_0}$
<p>Maseletă dreptunghiulară deschisă.</p> 	$D = 0,65 \sqrt[3]{800 R^3 + 3 \beta V_0}$
<p>Canal vertical maseletă laterală.</p> 	$D = \sqrt[3]{125 R^3 + 3 \beta V_0}$
<p>Colector cilindric</p> 	$D = \sqrt[3]{280 R^3 + 3 \beta V_0}$
<p>Colector dreptunghiular orizontal.</p> 	$D = 0,65 \sqrt[3]{400 R^3 + 3 \beta V_0}$
<p>Maseletă cilindrică închisă</p> 	$D = \sqrt[3]{210 R^3 + 3 \beta V_0}$



Tabelul 4.13

Relații pentru determinarea maselotelor  
pieselor circulare cu secțiunea  
în formă de T.

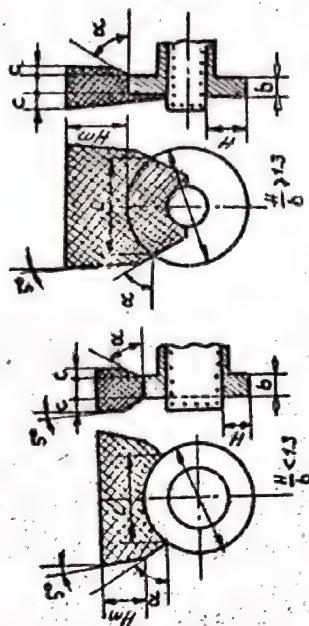


Dimensiuni	Notație	$\frac{H}{b} \leq 2,0$		$\frac{H}{b} > 2,0$	
		coroana	butuc	coroana	butuc
Adăusul tehnologic	$\alpha$	Nu este necesar		$0,1 H$	
Adăusul la grosimea maselotelor	$c$	$0,35 b$	$0,4 b$	$0,35(b+a)$	$0,4(b+a)$
Unghiul de răsucire	$\alpha$	$45^\circ$			
Unghiul lateral al maselotei	$\alpha_1$	$\frac{H_m}{10} 60$			
Înălțimea minimă a maselotei	$H_m$	$0,8 H + n$			
Diametrul serei înscrise în maselotă	$D_m$	$1,3 b$	—	$1,5(b+a)$	—
Lungimea unei maselote	$L_m$	$\frac{0,55 L_0}{n}$	—	$\frac{0,55 L_0}{n}$	—

$n$  - numărul de maselote  
 $L_0$  - lungimea circumferinței medii a coroanei

Tabelul 4.14

Formule pentru determinarea dimensiunilor  
maselotelor de plese cilindrice cu flanșe.



Dimensiuni	Notații	$\frac{H}{b} < 1,3$	$\frac{H}{b} \geq 1,3$
Adăusul tehnologic pe flanșe	$\alpha$	Nu este necesar	$0,05 D$
Lung. coardei flanșei	$L$		$0,8 D$
Înălțimea maselotei	$H_m$	$0,4 D$	$0,5 D$
Adăusul la grosimea maselotei	$b$		$0,4 D$
Unghiul de răsucire al maselotei	$\alpha$		$60^\circ$

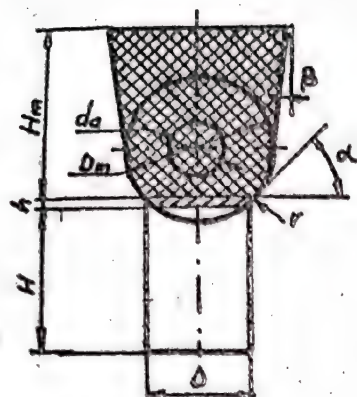


Fig.4.26. Determinarea dimensiunilor maselotei deschise la o piesă cilindrică din oțel

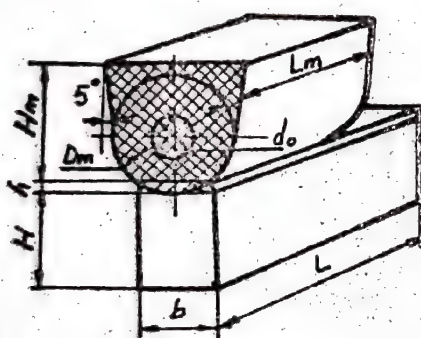


Fig.4.27. Determinarea dimensiunilor maselotei deschise la o piesă din oțel cu secțiunea dreptunghiulară

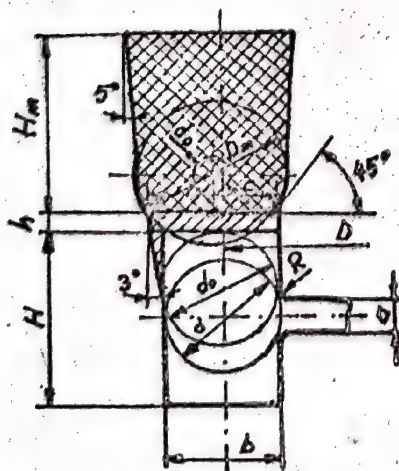


Fig.4.28. Determinarea dimensiunilor maselotei deschise la o piesă din oțel cu secțiunea în formă de T



Pentru un OT 600-2, conținutul de carbon este de 0,40-0,50. Se adoptă  $\xi_{VS} = 4,3\%$ .

Diametrul  $d_0$  al sferei de volum  $V_0$  pentru compensarea contracției volumetrice se calculează cu relația:

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{6 V_0}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,034 D^2 H}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,034 \cdot 200^2 \cdot 300}{\pi}} = 92 \text{ mm}$$

Dimensiunile maselotei vor fi:

$$D_m = D + d_0 = 200 + 92 = 292 \text{ mm};$$

$$H_m = d_0 + 1,35 D = 92 + 1,35 \cdot 200 = 362 \text{ mm}.$$

Adaosul tehnologic se adoptă din tabelul 4.16 în funcție de grosimea pereților piesei.

Tabelul 4.16.

Dimensiunile adaosului tehnologic (h)

Grosimea pereților piesei, [mm]	< 50	51... 100	101... 200	201... 300	301... 400	401... 500	500
Adaosul tehnologic, [mm]	10	15	20	25	30	35	40

Se adoptă  $h = 20 \text{ mm}$ .

Observație: Diametrul  $d_0$  se poate determina și din nomograma din figura 4.24.

x  
x x

4.44. Să se calculeze maselota pentru o piesă paralelipipedică care se toarnă din OT 600-2 cu următoarele dimensiuni:  $b = 150 \text{ mm}$ ,  $H = 200 \text{ mm}$ ,  $L = 500 \text{ mm}$ , fig. 4.27.

Rezolvare:

Volumul piesei este

$$V = H \cdot b \cdot L.$$

Datorită contracției la solidificare volumul aliajului se va micșora cu

$$V_0 = \xi_{VS} H \cdot b \cdot L.$$

Pentru OT 600-2,  $\xi_{VS} = 4,3\%$ .

Forma volumului de compensație a contracției va fi un cilindru cu diametrul  $d_o$  și lungimea  $L-b$ . În calcule se va considera pentru siguranță lungimea cilindrului de compensație  $L$ .

$$V_o = \frac{\pi d_o^2}{4} L.$$

$$\frac{\pi d_o^2}{4} L = \epsilon_{vs} H b L; \Rightarrow d_o = \sqrt{\frac{4 \epsilon_{vs} H b}{\pi}}$$

$$d_o = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,043 \cdot 200 \cdot 150}{\pi}} = 40 \text{ mm}.$$

Dimensiunile maselotei vor fi:

- lățimea,  $D_m = d_o + b = 40 + 150 = 190 \text{ mm}$ ;
- înălțimea,  $H_m = d_o + 1,35 b = 40 + 1,35 \cdot 150 = 242 \text{ mm}$ ;
- lungimea,  $L_m = L - b = 500 - 150 = 350 \text{ mm}$ ;
- adaosul tehnologic,  $h = 20 \text{ mm}$ .

Observație: Diametrul  $d_o$  se poate determina și din nomograma din figura 4.25. Lungimea maselotei poate fi micșorată cu menținerea constantă a volumului prin mărirea înălțimii. În acest caz lungimea nu trebuie să fie mai mică ca  $L = 1,2 D_m$ .

x  
x x

4.15. Să se calculeze maselota pentru o roată cu secțiunea în T, turnată din oțel carbon, cu următoarele dimensiuni; fig. 4.28:

- grosimea peretelui,  $b = 100 \text{ mm}$ ;
- grosimea nervurii,  $a = 30 \text{ mm}$ ;
- înălțimea,  $H = 160 \text{ mm}$ ;
- diametrul,  $D = 1000 \text{ mm}$ .

**Rezolvare:**

Diametrul  $d$  al sferei care se poate înscrie în nodul termic este dat de relația:

$$d = b + \frac{(3a + b)^2}{8(a + 3b)} = 100 + \frac{(3 \cdot 30 + 100)^2}{8(30 + 300)} = 114 \text{ mm}.$$

Diametrul  $d_o$ , al cilindrului necesar pentru compensație, se obține cu relația:

$$d_o = 0,3 \sqrt{H b + 2 a^2}.$$



$$d_o = 0,3 \sqrt{160 \cdot 100 + 2 (30)^2} = 40 \text{ mm.}$$

Dimensiunile maselotei sînt:

- lăţimea maselotei în zona de contact,  $c = d + 0,02 H$ ,  
 $c = 114 + 0,02 \cdot 160 = 117 \text{ mm};$
- diametrul maselotei,  $D_m = c + d_o$ ,  
 $D_m = 117 + 40 = 157 \text{ mm};$
- înălţimea maselotei,  $H_m = d_o + 1,35 b$ ,  
 $H_m = 40 + 1,35 \cdot 100 = 175 \text{ mm.}$

Dacă se admite că numărul maselotelor este  $n = 6$ , atunci lungimea unei maselote pe circumferinţa medie a roţii va fi de:

$$L_m = \frac{0,55 L_o}{n} = \frac{0,55}{6} \pi D = \frac{0,55}{6} \cdot \pi \cdot 1000 = 282 \text{ mm.}$$

Din tabelul 4.16 se adoptă  $h = 20 \text{ mm.}$

Pentru determinarea diametrului de compensaţie  $d_o$  se poate utiliza şi nomograma din figura 4.30.

Pentru determinarea diametrului  $d$  al sferei care se poate înscrie în nodul termic în funcţie de  $a$  şi  $b$  se utilizează şi nomograma din figura 4.29.

#### b) Metoda conţinutului minim de aliaj

Utilizarea acestei metode presupune următoarele etape:

- asigurarea solidificării dirijate a piesei astfel încît retasura să fie concentrată la partea superioară a piesei;

- identificarea nodurilor termice şi rezolvarea modului de eliminare;

- fixarea punctelor în care se amplasează maselotele, forma şi zona lor de influenţă;

- calculul retasurii din volumul piesei

$$V_{ret} = \epsilon_{vs} V$$

unde:  $V_{ret}$  - volumul retasurii, în %;

$\epsilon_{vs}$  - coeficient de contracţie volumetrică, în %

$V$  - volumul piesei, în  $\text{cm}^3$ ;

- distribuirea volumului retasurii diverselor maselote, proporţional cu volumul zonei de influenţă, astfel ca fiecare maselotă să conţină o cantitate minimă de oţel lichid egală cu volumul retasurii ce se formează sub ea;

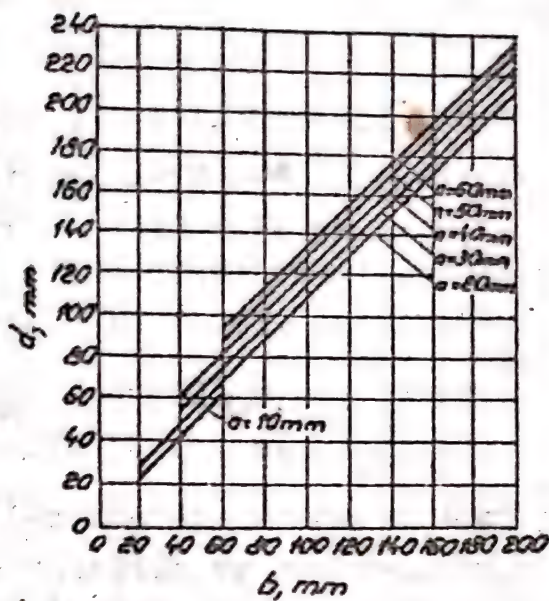


Fig. 4.29. Nomogramă pentru determinarea diametrului sferei înscrise ( $d$ ) în nodul termic al unei piese din oțel cu secțiunea în formă de T în funcție de grosimea peretelui  $b$  și de grosimea nervurii  $a$ .

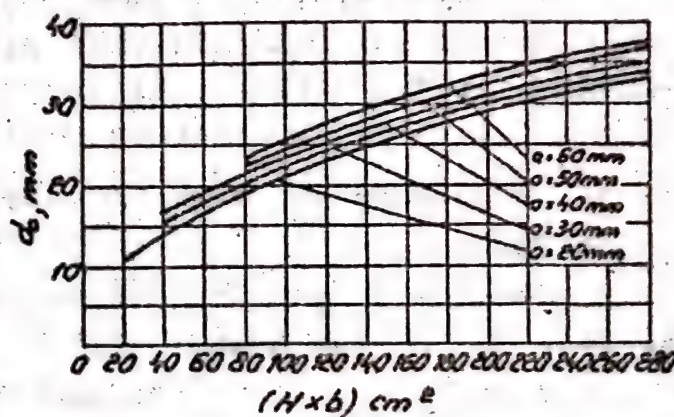


Fig. 4.30. Nomogramă pentru determinarea lui  $d$  la calculul maselelor deschise la piesele din oțel cu secțiunea în formă de T.



- se sporește înălțimea piesei cu 10...25 mm pentru a obține forma și dimensiunea maselotei, guler care se îndepărtează ulterior.

4.16. Să se dimensioneze după metoda conținutului minim de aliaj maselota necesară pentru turnarea unei bare cilindrice din OT 500-1, figura 4.34. Bara se prelucrează la exterior.

Rezolvare:

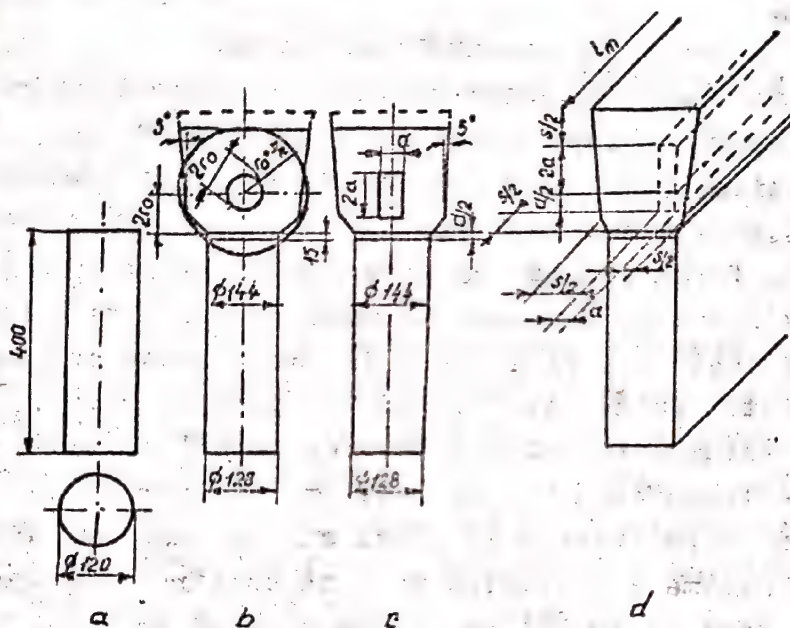


Fig. 4.34. Schemă de dimensionare a maselotelor.

Se mărește înălțimea piesei cu 20 mm, guler necesar pentru îndepărtarea ulterioară a maselotei.

Se stabilește un adaos de prelucrare de 4 mm. Pentru a asigura solidificarea dirijată a piesei se mărește adaosul de prelucrare la partea superioară cu 8 mm. Diametrul inferior al piesei va fi de 128 mm iar cel superior de 144 mm.

Volumul piesei după stabilirea adaosurilor este:

$$V = \frac{\pi h}{3} (R^2 + Rr + r^2) = \frac{\pi \cdot 4}{3} (0,072^2 + 0,064^2 + 0,072 \cdot 0,064) = 0,00581 \text{ m}^3 = 5810 \text{ cm}^3.$$

Pentru calculul volumului de retasură se alege în funcție de conținutul de carbon,  $\epsilon_{vs} = 3\%$ .

$$V_{ret} = \epsilon_{vs} \cdot V = 0,03 \cdot 5810 = 174 \text{ cm}^3.$$

Deoarece piesa are o formă cilindrică se dă acestui volum o formă sferică. Raza sferei se calculează din relația:

$$V_{\text{ret}} = \frac{4\pi r_0^3}{3} \Rightarrow r_0 = \sqrt[3]{\frac{3 V_{\text{ret}}}{4}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 174}{4}} = 3,46 \text{ cm.}$$

Pentru a obține forma și dimensiunile maselotei se desenează o sferă cu raza  $r_0$ , avînd centrul pe axa maselotei, la înălțimea  $2 r_0$  de la piesă. Concentric cu această sferă se trasează o sferă cu raza

$$R = r_0 + \frac{\delta_0}{2},$$

unde:  $R$  - raza maselotei sferice;

$\delta_0$  - grosimea piesei;

$$R = 3,46 + 7,2 \simeq 10,7 \text{ cm.}$$

Maselota de formă sferică va alimenta piesa cu oțel lichid în timpul solidificării, deoarece în momentul în care grosimea stratului solidificat este egală cu  $\delta_0/2$ , deci piesa este solidificată, în maselotă rămîne oțel lichid în sfera de rază  $r_0$ , cu un volum egal cu volumul retasurii. Deoarece maselota sferică se formează greu, se transformă într-o maselotă cilindrică sau prismatică. Maselota se racordează la piesă sub un unghi de  $45^\circ$ .

Înălțimea minimă a maselotei rezultă constructiv, dar de regulă se adoptă pînă la suprafața de sus a ramei de formare.

x  
x x

#### c) Metoda modulului de solidificare

Metoda modulului de solidificare are la bază următoarele trei condiții:

- maselota se va solidifica după piesă sau simultan cu aceasta;
- maselota va conține un volum de metal pentru a compensa contracția volumică a piesei și contracția proprie;
- zona de acțiune a maselotei va fi suficientă pentru a alimenta partea din piesă deasupra căreia este plasată.

Calculul modulului de solidificare se face cu ajutorul relației:



$$m = \frac{V}{A} , \quad (4.59)$$

unde:  $m$  - modulului de solidificare;

$V$  - volumul piesei;

$A$  - suprafața de răcire a piesei.

La calculul suprafeței de răcire a piesei se vor lua în considerare numai suprafețele care se răcesc în contact cu amestecul de formare.

În funcție de configurația piesei la calculul modulului de solidificare se folosesc relațiile prezentate în tabelul 4.17.

Timpul de solidificare al unei piese turnate este proporțional cu pătratul modulului de solidificare, relația lui Ohworinoff:

$$t_s = K \left( \frac{V}{A} \right)^2 = K m^2 . \quad (4.60)$$

Pentru a se asigura o solidificare dirijată a piesei turnate, este necesar ca modulul de solidificare pentru diferite părți ale piesei să crească în direcția maselotei, care va avea cel mai mare modul de solidificare. De asemenea, un factor important pentru asigurarea unei solidificări dirijate constă în creșterea modulului de solidificare în punctele de intersecție ale pereților piesei (noduri termice).

În figura 4.32 se prezintă creșterea modulului de solidificare pentru diferite tipuri de intersecții la aceeași grosime de perete, după Wlodawer.

De exemplu pentru o îmbinare de tip II, cu raza de racordare  $\rho = 40$  mm și grosimea de perete  $w = 20$  mm, adică  $\rho/w = 40/20 = 2$ , se obține un factor de creștere a modulului de 1,43. Știind că pentru un perete plan cu grosimea de 20 mm și modulul de solidificare,  $m = 10$  mm, înseamnă că în cazul analizat, având în vedere factorul de creștere a modulului, modulul de solidificare va fi  $m' = 1,43 \cdot 10 = 14,3$  mm.

Pentru dimensionarea maselotelor se utilizează următoarea relație:

$$d^3 - A d^2 \cdot \frac{V_p}{A_p} - B V_p = 0 \quad (4.61)$$

unde:  $d$  - diametrul maselotei, în cm;

$V_p$  - volumul din piesă care se alimentează din maselotă, în  $\text{cm}^3$ ;

$A_p$  - aria de răcire a acelei părți din piesă care este alimentată de maselotă, în  $\text{cm}^2$ ;

A, B - constante care depind de forma maselotei, de coeficientul de corecție și de contracție. Valoarea constantelor A și B pentru diferite tipuri de maselote se dau în tabelul 4.18.

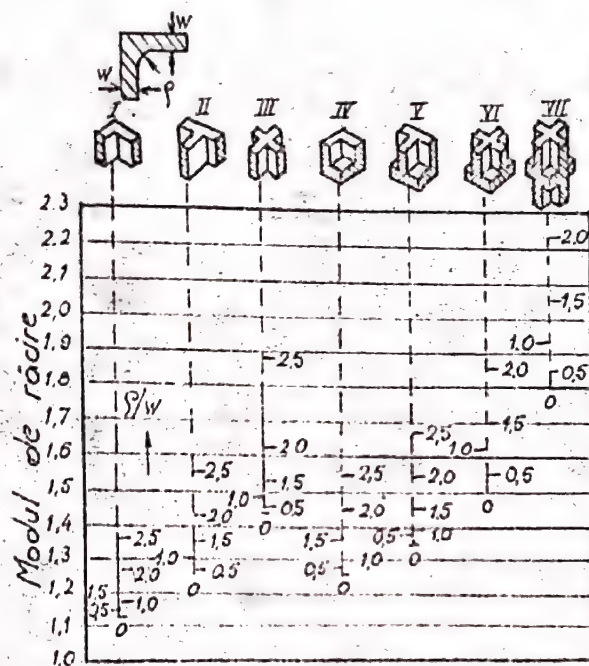


Fig. 4.32. Creșterea modulului  $m$  la punctele de intersecție ale peretilor.

Înainte de a determina diametrul maselotei, se stabilește forma maselotei și se apreciază volumul și aria de răcire a năseii. Deoarece pentru determinarea volumului piesei și ariei de răcire se fac multe aproximări, în calcule se introduce un coeficient de corecție „f”. Datele practice au arătat că valoarea cea mai apropiată de realitate a lui „f” este 1,2. În acest caz este necesar ca la calculul suprafeței de răcire să se ia în considerare reducerea acesteia ca urmare a plasării maselotei. Pentru simplificarea calculelor se recomandă a se adopta  $f = 1,3$ , fără a mai fi nevoie de reducerea suprafeței de răcire ca urmare a plasării maselotei.

Luând în considerare modulul de solidificare relația (4.61) pentru calculul diametrului maselotei devine:

$$d^3 - Ad^2_m - BV_p = 0 \quad (4.62)$$



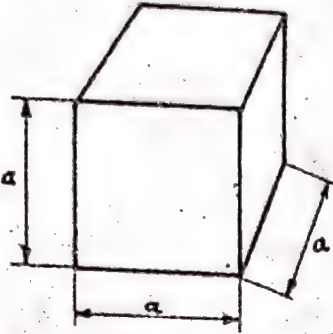
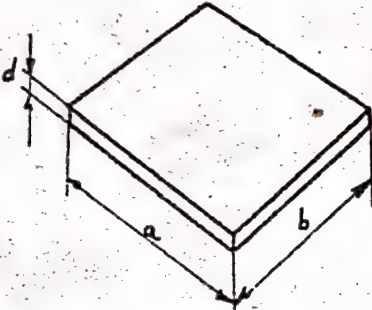
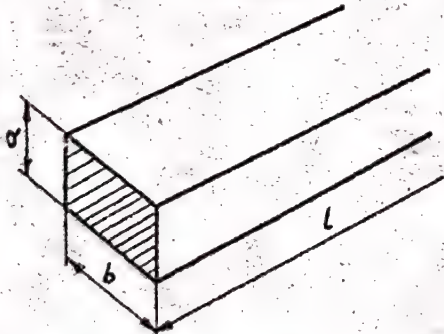
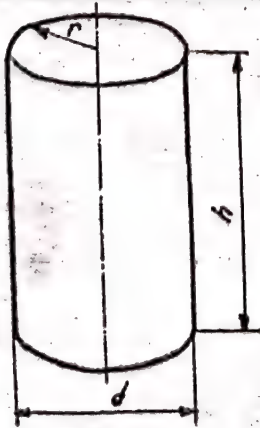
Tabelul 4.18.

Constantele A și B pentru diferite tipuri de maselote

Tip	Fig.	Înălțimea $\frac{h}{R}$	$p^1)$ %	A				B
				$f=1,0$	$f=1,1$	$f=1,2$	$f=1,3$	
1a		1,5d	3	4,81	5,29	5,77	6,26	0,0255
			5	4,90	5,39	5,88	6,37	0,0425
			7	4,99	5,49	5,99	6,49	0,0595
1a <sub>e</sub> <sup>2)</sup>		1,5d	3	4,12	4,53	4,94	5,35	0,0255
			5	4,20	4,62	5,04	5,46	0,0425
			7	4,29	4,71	5,15	5,58	0,0595
1b		d	3	5,15	5,66	6,19	6,70	0,0382
			5	5,25	5,77	6,30	6,83	0,0637
			7	5,35	5,89	6,42	6,96	0,0892
1b <sub>e</sub> <sup>2)</sup>		d	3	4,12	4,53	4,94	5,35	0,0382
			5	4,20	4,62	5,04	5,46	0,0637
			7	4,29	4,71	5,15	5,58	0,0892
1c		0,5d	3	6,18	6,80	7,42	8,03	0,0164
			5	6,30	6,93	7,56	8,19	0,0274
			7	6,42	7,06	7,70	8,35	0,0483
1c <sub>e</sub> <sup>2)</sup>		0,5d	3	4,12	4,53	4,94	5,35	0,0164
			5	4,20	4,62	5,04	5,46	0,0274
			7	4,28	4,71	5,14	5,56	0,0483
2a		1,5d + $\frac{d}{2}$	3	4,49	4,94	5,39	5,84	0,0208
			5	4,58	5,05	5,51	5,96	0,0348
			7	4,67	5,14	5,61	6,07	0,0487
2b		d + $\frac{d}{2}$	3	4,64	5,10	5,57	6,04	0,0287
			5	4,73	5,21	5,69	6,16	0,0478
			7	4,82	5,30	5,79	6,26	0,0669
2c		$\frac{d}{2} + \frac{d}{R}$	3	4,83	5,32	5,80	6,27	0,0458
			5	5,08	5,56	6,06	6,59	0,0714
			7	5,16	5,68	6,20	6,71	0,1071

1.)  $p$  = contracția în procente;2.)  $e$  indică faptul că maselota se acoperă cu material exoterm după turnare.

Calculul modului de solidificare.

 <p>Cub</p>	$V = a \cdot a \cdot a$ $A = 6 \cdot a \cdot a$ $m = \frac{a \cdot a \cdot a}{6 \cdot a \cdot a}$ $m = \frac{a}{6}$
 <p>Placă</p>	<p><math>a, b \gg d</math> pierderile de căldură prin părțile laterale se neglijează</p> $V = a \cdot b \cdot d$ $A = 2 \cdot a \cdot b$ $m = \frac{a \cdot b \cdot d}{2 \cdot a \cdot b}$ $m = \frac{d}{2}$
 <p>Bară lungă</p>	$V = a \cdot b \cdot l$ $A = 2(a+b) \cdot l$ $m = \frac{a \cdot b \cdot l}{2(a+b) \cdot l}$ $m = \frac{a \cdot b}{2(a+b)}$
 <p>Cilindru</p>	$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$ $A = 2\pi \cdot r \cdot h + 2\pi r^2$ $m = \frac{r \cdot h}{2(r+h)}$ <p>pentru <math>h = 2r</math> <math>m = \frac{r}{3}</math>  <math>h = 3r</math> <math>m = \frac{3r}{8}</math></p>



În continuare diametrul maselotei se poate determina prin încercări în relația de dimensionare (4.62) sau prin folosirea nomogramei din figura 4.33.

- Calculul prin încercări. În cazul utilizării acestei metode, după ce se stabilește forma maselotei, volumul piesei și aria de răcire, se aleg din tabelul 4.48 în funcție de valoarea contracției și coeficientul „f”, constantele A și B. Se introduc aceste constante în relația (4.62) și se fac încercări pentru diferite valori ale diametrului d, pînă se determină valoarea care verifică ecuația.

- Utilizarea nomogramei:

- . se alege în funcție de mărimea lui  $V_p$  și  $A_p$  scara de reprezentare I, II sau III;
- . se fixează pe axa D, valoarea  $V_p$ ;
- . se duce o orizontală spre stînga pînă la intersecția cu valoarea  $A_p$ , pe aceeași scară de reprezentare;
- . se deplasează în jos o verticală pînă la intersecția cu curba pentru valoarea coeficientului A;
- . se duce o linie orizontală pînă la intersecția cu axa E;
- . se fixează pe axa G, pe scara de reprezentare aleasă, valoarea  $V_p$ ;
- . se deplasează în jos o verticală pînă la intersecția cu curba pentru valoarea coeficientului B;
- . se duce spre stînga o orizontală pînă la intersecția cu axa F;
- . unind punctele de pe axele E și F se obține la intersecția cu curba pentru diametrul d, valoarea diametrului maselotei.

De o deosebită importanță la dimensionarea maselotelor este stabilirea mărimei gîtului maselotei, adaosul tehnologic.

Dimensiunile gîtului maselotei vor fi stabilite în așa fel încît gîtul maselotei să se solidifice după piesă dar înaintea maselotei. Pentru aceasta se recomandă să fie îndeplinită următoarea condiție:

$$m_p : m_{gm} : m_m = 1 : 1,1 : 1,2,$$

unde:  $m_p$  - modulul de solidificare al piesei;

$m_{gm}$  - modulul de solidificare al gîtului maselotei;

$m_m$  - modulul de solidificare al maselotei.





4.17. Să se dimensioneze maselota pentru piesa din figura 4.34 turnată din oțel carbon, cunoscându-se:

- volumul piesei,  $V_p = 530 \text{ cm}^3$ ;
- suprafața de răcire a piesei,  $A_p = 750 \text{ cm}^2$ ;
- coeficientul de contracție, 5%;
- coeficientul de corecție,  $f = 1,0$ ;
- suprafața exterioară a maselotei nu se acoperă cu material exoterm.

Rezolvare:

Se alege din tabelul 4.18 pentru o maselotă cilindrică cu  $h = 1,5 d + d/2$ , în funcție de contracție și coeficientul de corecție:

$$A = 4,58 ;$$

$$B = 0,0348.$$

În continuare pe baza indicațiilor de utilizare a nomogramei din figura 4.33 linia punctată, se determină diametrul maselotei:

$$d = 4,3 \text{ cm.}$$

$$\begin{matrix} x \\ x & \pi \end{matrix}$$

4.18. Să se dimensioneze maselota pentru piesa din figura 4.35 turnată din oțel carbon cu ajutorul nomogramei. Coeficientul de contracție se consideră 5%.

Rezolvare:

În urma calculelor efectuate pentru determinarea volumului piesei și a suprafeței de răcire s-a obținut:

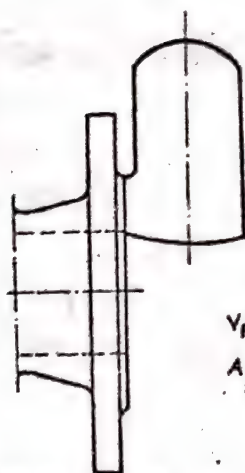
$$V_p = 550 \text{ cm}^3$$

$$A_p = 410 \text{ cm}^2$$

Deoarece în calculul suprafeței de răcire nu s-a avut în vedere o reducere a acesteia ca urmare a plasării maselotei, se alege  $f = 1,3$ .

Maselota se va plasa la partea superioară a piesei. Forma maselotei este cilindrică cu diametrul „d” și înălțimea  $h = 1,5 d$ . Suprafața exterioară a maselotei se acoperă cu un amestec exoterm.

Pe baza acestor date din tabelul 4.18 se alege:



$$V_p = 530 \text{ cm}^3$$

$$A_p = 750 \text{ cm}^2$$

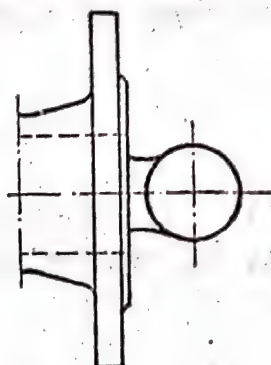


Fig.4.34. Exemplu de calcul

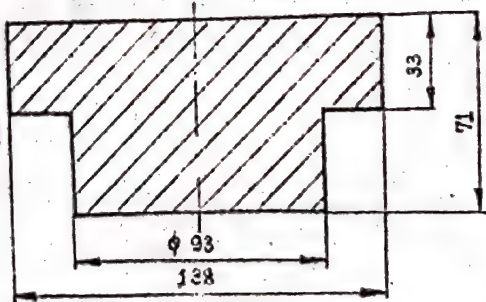
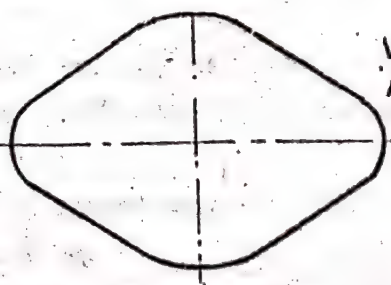


Fig.4.35. Exemplu de calcul



$$V_p = 550 \text{ cm}^3$$

$$A_p = 440 \text{ cm}^2$$



$$A = 5,46 ;$$

$$B = 0,0425 .$$

Respectând indicațiile de utilizare a nomogramei se obține  $d = 8 \text{ cm}$ .

#### 4.3.2. Răcitori pentru piesele turnate din oțel

Retasurile secundare din nodurile termice pot fi evitate prin accelerarea vitezei de răcire a nodurilor, cu ajutorul răcitorilor exteriori sau interiori.

a) Răcitori interiori. Se execută din oțeluri având aproximativ aceeași compoziție cu a oțelului care se toarnă.

Masa lor reprezintă în general 5-10% din greutatea nodului termic răcit putând ajunge la piesele mari până la 20% din masa piesei.

În figura 4.36 se prezintă tipurile de răcitori interiori utilizați și modul de fixare a lor. Dimensiunile răcitorilor se stabilesc pe baza datelor din figura 4.37 și tabelul 4.19.

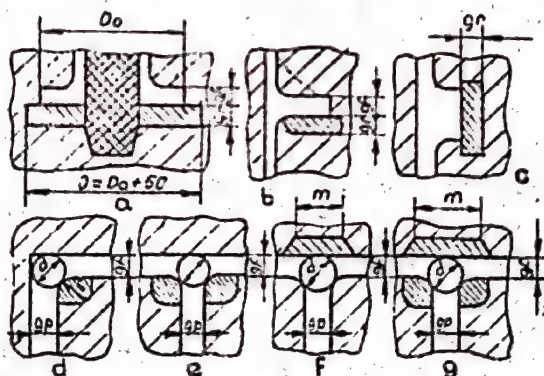


Fig. 4.36. Noduri termice tipice ale pieselor turnate din oțel, răcite cu răcitoare exterioare.  
a - flanșă ; b - întăritură ; c - bosaj ; d - nod în formă de literă L ; e - nod în formă de literă T răcit bilateral ; f - nod în formă de literă T răcit de la exterior ; g - nod în formă de literă T răcit din trei părți.

b) Răcitori exteriori. Se execută din materiale cu conductivitate termică mare, fontă, oțel, având configurația corespunzătoare nodului termic care trebuie răcit. Datorită coeficientului mare de acumulare a căldurii a răcitorilor, nodurile termice se solidifică înaintea pereților învecinați și în acest fel golul de retasură se poate alimenta cu oțel lichid.

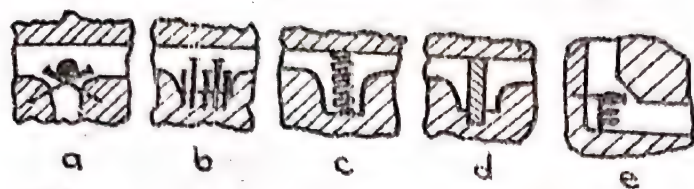


Fig.4.36. Diferite tipuri de răcitori interiori:  
a-bară sprijinită pe cuie; b-cuie  
c-spirală de sîrmă; d-bară fixată; e-spiral fixat cu un cui

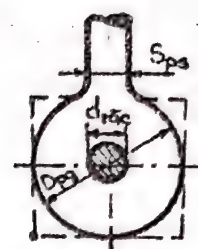


Fig.4.37. Schemă pentru calculul răcitorului interior

DIMENSIUNILE RACITORILOR INTERIORI PENTRU  
PIESE DIN OTEL AVIND PARTEA INTERIOARA  
CILINDRICA SAU PATRATA

Tabelul 4.19

Dimensiuni	Raport $\frac{D_{pg}}{S_{ps}}$	Grosimea părții superioare subțiri a piesei turnate $S_{ps}$ , mm								
		20	30	40	50	60	80	100	150	200
Diametrul sau latura patratului porțiunii inferioare a piesei turnate $D_{pg}$ , m.m.	2.0	40	60	80	100	120	160	200	300	400
	2.5	50	75	100	125	150	200	250	375	500
	3.0	60	90	120	150	180	240	300	450	—
Diametrul racitorului, $d_{rac}$ mm — cînd nu există supraîncălzire	2.0	3.0	8.5	9.5	11.0	17.0	24.0	26.0	37.0	50.0
	2.5	11.0	16.0	22.0	27.0	31.0	42.0	52.0	78.0	109.0
	3.0	16.0	25.5	32.5	41.0	47.0	68.0	84.0	120	—
— la o supraîncălzire de 50°C	2.0	4.6	9.5	12.0	14.0	19.0	26.0	30.0	48.0	60.0
	2.5	12.5	19.0	26.0	32.0	38.0	50.0	61.0	92.0	127.0
	3.0	16.6	31.0	38.0	47.0	58.0	78.0	98.0	140.0	—



Nodurile termice tipice, răcite cu ajutorul răcitorilor se prezintă în figura 4.38. Dimensiunile acestor răcitori se prezintă în tabelul 4.20. Dacă nodurile termice au lungimi mari este necesară așezarea unui număr mai mare de răcitori la diferite intervale, tabelul 4.21.

4.19. Să se determine dacă un răcitor interior cu masa de 1 kg poate elimina un nod termic cu masa 10 kg la turnarea unei piese din oțel cunoscându-se:

- căldura latentă de solidificare,  $L = 267950 \text{ J/kg}$ ;
- căldura specifică a oțelului,  $c_p = 750 \text{ J/kgK}$ ;
- temperatura de turnare,  $t_t = 1600^\circ\text{C}$ ;
- temperatura de solidificare,  $t_s = 1480^\circ\text{C}$ ;
- căldura masică a răcitorului,  $c_r = 620 \text{ J/kgK}$ ;
- temperatura răcitorului,  $t_r = 1480^\circ\text{C}$ ;
- temperatura inițială a răcitorului,  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ .

Rezolvare:

Masa răcitorului se calculează în așa fel încît să poată absorbi căldura de supraîncălzire și căldura latentă de solidificare a oțelului din nodul termic. Răcitorul se încălzește pînă la temperatura de topire fiind resorbit în materialul piesei.

Masa răcitorului se determină cu relația:

$$m_r c_r (t_r - t_0) = \Delta m [L + c_p (t_t - t_s)],$$

unde:  $\Delta m$  - masa nodului termic, în kg.

$$\begin{aligned} m_r &= \frac{\Delta m [L + c_p (t_t - t_s)]}{c_r (t_r - t_0)} = \\ &= \frac{10 [267950 + 750 (1600 - 1480)]}{620 \cdot (1480 - 20)} = 3,95 \text{ kg.} \end{aligned}$$

Deci răcitorul cu masa de 1 kg nu poate determina rezolvarea unui nod termic cu masa de 10 kg.

x

x x

4.20. Să se calculeze grosimea unui răcitor exterior din oțel de formă paralelipipedică folosit pentru eliminarea unui nod termic cu grosimea suplimentară a peretelui  $\Delta S = 25 \text{ mm}$ . Se cunosc:

TABELUL 4.20

DIMENSIUNILE RĂCITORILOR PENTRU PIESE DIN OTEL

Felul locului care trebuie răcit	Dimens. locului care trebuie răcit, mm		Dimensiunile răcitorului, mm		
	$\alpha$	$b$	$g$	$s$	$m$
Flanșe Talpă în consolă	De la 40	—	0.5...0.6 $\alpha$	—	—
	Până la 40	—	0.6...0.8 $\alpha$	—	—
Bosaj	De la 40	—	0.6...0.8 $\alpha$	—	—
	Până la 40	—	0.8...1.0 $\alpha$	—	—
Nod cu unghi drept	De la 25	De la 25	—	0.5...0.8 $d$	—
	Până la 25	Până la 25	—	0.5...0.8 $d$	—
	De la 25	Până la 25	—	0.4...0.6 $d$	—
Nod în formă de T răcit cu doi răcitori	De la 20	Până la 20	—	0.5...0.6 $d$	—
	De la 20	De la 20	—	0.3...0.4 $d$	—
	Până la 20	Până la 20	—	0.5...0.6 $d$	—
	Până la 20	De la 20	—	0.3...0.5 $d$	—
Nod în formă de T răcit cu un răcitor.	De la 20	Până la 20	0.5...0.6 $\alpha$	—	2.5...3 $b$
	De la 20	De la 20	0.5...0.6 $\alpha$	—	2.0...2.5 $b$
	Până la 20	Până la 20	0.6...0.8 $\alpha$	—	2.5...3.0 $b$
	Până la 20	De la 20	0.6...0.8 $\alpha$	—	2.0...2.5 $b$
Nod în formă de T răcit cu trei răcitori	De la 20	Până la 20	0.4...0.5 $\alpha$	0.4...0.5 $d$	2.5...3.0 $b$
	De la 20	De la 20	0.4...0.5 $\alpha$	0.3...0.4 $d$	2.0...2.5 $b$
	Până la 20	Până la 20	0.4...0.5 $\alpha$	0.4...0.5 $d$	2.5...3.0 $b$
	Până la 20	De la 20	0.5...0.6 $\alpha$	0.3...0.4 $d$	2.0...2.5 $b$

TABELUL 4.21

DIMENSIUNILE RĂCITORILOR EXTERIORI ȘI  
INTERVALELE DINTRE EI

Tipul răcitorilor	Dimensiuni, mm	Lungimea răci- torilor, mm	Intervalul între răcitori, mm
Cilindrice	Diametrul < 25	100...150	15...20
	Diametrul 25...45	100...200	20...30
Plone	Grosimea 10	100...150	6...10
	Grosimea 10...25	150...200	10...20
	Grosimea > 25	200...300	20...30



- 135 -

- căldura latentă de solidificare a oțelului,  
 $L = 267950 \text{ J/kgK}$ ;
- căldura masică a aliajului,  $c_p = 750 \text{ J/kgK}$ ;
- căldura masică a răcitorului,  $c_r = 680 \text{ J/kgK}$ ;
- densitatea oțelului lichid,  $\rho_l = 7000 \text{ kg/m}^3$ ;
- densitatea răcitorului exterior,  $\rho_r = 7500 \text{ kg/m}^3$ ;
- temperatura de turnare,  $t_t = 1600^\circ\text{C}$ ;
- temperatura de solidificare,  $t_s = 1480^\circ\text{C}$ .

Rezolvare:

Răcitorul exterior preia căldura de supraîncălzire și căldura de solidificare a grosimii suplimentare a nodului termic față de pereții învecinați. Răcitorul preia această căldură prin conductivitate și de aceea temperatura lui nu trebuie să depășească temperatura de  $700^\circ\text{C}$  deoarece conductivitatea scade cu creșterea temperaturii.

Grosimea răcitorului pentru unitatea de suprafață se calculează cu relația:

$$\begin{aligned}
 x_r c_r \rho_r t_r &= \rho_l [L + c_p (t_t - t_s)] \cdot \Delta s. \\
 x_r &= \frac{\rho_l [L + c_p (t_t - t_s)]}{c_r \rho_r \cdot t_r} = \\
 &= \frac{7000 [267950 + 680 \cdot (1600 - 1480)]}{680 \cdot 7500 \cdot 700} \cdot 25 = \\
 &= 0,66 \cdot 25 = 16,5 \text{ mm}.
 \end{aligned}$$

În practică grosimea răcitorului se poate calcula simplificat cu relația:  $x_r = (0,65 \dots 1,0) \Delta s$ .

$x_r = 0,75 \times 25 \approx 19 \text{ mm}$ , valoare apropiată de cea calculată teoretic.

CAPITOLUL 5

LUCRARI DE LABORATOR



## DIMENSIONAREA CUPTORULUI ELECTRIC CU ARC

Dimensionarea cuptorului electric cu arc se face după aceleași criterii de bază atât pentru cele bazice cât și pentru cele acide, capacitatea cuptorului  $P$ , fiind elementul de bază al dimensionării.

În turnătorii cele mai folosite cuptoare electrice cu arc sînt cele cu capacitatea  $P = 1 ; 1,5 ; 3 ; 3,5 ; 5 ; 8 ; 10 \text{ t.}$

În continuare se va prezenta un exemplu de calcul pentru un cuptor cu capacitatea  $P = 5 \text{ t}$  și căptușeală bazică.

### 5.1. Dimensionarea vetrei

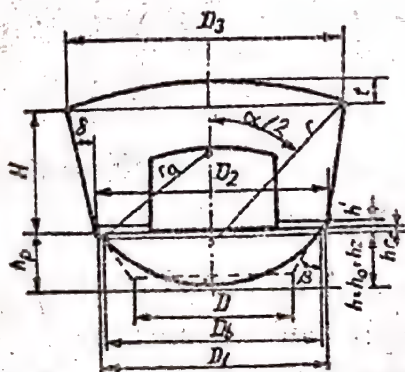


Fig. 5.1.1. Schița profilului interior al cuptorului electric cu arc

În figura 5.1.1. se prezintă profilul interior al cuptorului electric cu arc și dimensiunile principale.

Volumul ocupat de baia metalică este o calotă sferică cu raza  $r_0$ , a cărei bază corespunde suprafeței băii metalice cu diametrul  $D_0$ . Înălțimea calotei  $h_0$ , corespunde înălțimii băii metalice.

Considerînd că greutatea specifică a oțelului în stare lichidă este egală cu  $6900 \text{ kg/m}^3$  ( $6900 - 7100 \text{ kg/m}^3$ ) și că

masa oțelului este egală cu capacitatea cuptorului  $P$ , volumul calotei sferice ocupat de baia de oțel va fi

$$V_0 = \frac{P}{6,9} = 0,145 P [\text{m}^3] . \quad (5.1.1)$$

$$V_0 = \frac{1}{6} \pi h_0 \left( \frac{3}{4} D_0^2 + h_0^2 \right) [\text{m}^3] . \quad (5.1.2)$$

În condițiile practice se adoptă între diametrul băii de oțel  $D_o$  și înălțimea ei  $h_o$ , următorul raport :

$$\frac{D_o}{h_o} = 4,5 \div 5,0 . \quad (5.1.3)$$

Se alege:

$$\frac{D_o}{h_o} = 4,7 ;$$

În baza relațiilor (5.1.1), (5.1.2) și (5.1.3) se determină  $D_o$  și  $h_o$  :

$$V_o = 0,145 \times 5 = 0,725 \text{ m}^3,$$

$$0,725 = \frac{1}{6} \pi h_o \left( \frac{3}{4} D_o^2 + h_o^2 \right) .$$

$$D_o = 4,7 h_o ; \Rightarrow h_o = 0,429 \text{ m} .$$

$$D_o = 4,7 h_o = 4,7 \cdot 0,429 = 2,016 \text{ m} .$$

În cazul în care profilul interior al vetrei se asimilează cu un troncon cu diametrul mic  $D$  (linia punctată) volumul ocupat de baia de oțel se calculează cu următoarele relații:

$$V_o = \frac{\pi h_o}{12} (D_o^2 + D_o D + D^2) \quad [\text{m}^3]; \quad (5.1.4)$$

$$V_o = 0,145 P \quad [\text{m}^3] ; \quad (5.1.5)$$

$$D = D_o - 2h_o \operatorname{tg} \beta , \quad (5.1.6)$$

unde:  $\beta$  - unghiul de înclinare a vetrei:  $\beta = 45^\circ$ .

În acest caz se recomandă ca  $D_o/h_o \geq 5$ .

Volumul ocupat de zgură se asimilează cu volumul unui troncon cu diametrul mic  $D_o$ , diametrul mare  $D_b$  (diametrul băii) și înălțimea  $h_{zg}$  (înălțimea stratului de zgură):

$$V_{zg} = \frac{\pi h_{zg}}{12} (D_b^2 + D_b D_o + D_o^2) \quad [\text{m}^3] . \quad (5.1.7)$$

$$D_b = D_o + 2h_{zg} \operatorname{tg} \beta . \quad (5.1.8)$$

Volumul ocupat de zgură se adoptă ca fiind:

$$V_{zg} = (0,15 \div 0,20) V_o = (0,022 \dots 0,029) P . \quad (5.1.9)$$

Din relațiile (5.1.7), (5.1.8), (5.1.9) determinăm  $V_{zg}$ ,  $h_{zg}$

$D_b$ :

$$h_{zg} = \frac{D_b - D_o}{2 \operatorname{tg} \beta} ; \quad \beta = 45^\circ \Rightarrow \operatorname{tg} \beta = 1 ;$$

$$h_{zg} = \frac{D_b - D_o}{2} .$$



Alegem:  $V_{zg} = 0,17 V_0$ ;

$$V_{zg} = 0,123 \text{ m}^3.$$

$$0,123 = \frac{\pi}{12} \frac{D_b^3 - D_0^3}{2} (D_b^2 + D_b \cdot D_0 + D_0^2),$$

$$0,123 = \frac{\pi}{24} (D_b^3 - D_b^2 D_0 + D_b \cdot D_0^2 - D_0 D_b^2 - D_0^2 D_b - D_0^3),$$

$$0,123 = \frac{\pi}{24} (D_b^3 - D_0^3),$$

$$D_b^3 - D_0^3 = 0,940 ; D_b = 2,090 \text{ m}.$$

$$h_{zg} = 0,037 \text{ m}.$$

Adîncimea băii este dată de relația:

$$h = h_0 + h_{zg} \Rightarrow h = 0,466 \text{ m}.$$

Pentru calculul diametrului  $D_1$  în planul pragului se admite că spațiul de rezervă are înălțimea  $h_r$  și volumul:

$$V_r = (0,08 \div 0,12) V_0. \quad (5.4.10)$$

$$V_r = \frac{\pi h_r}{12} (D_1^2 + D_1 D_b + D_b^2) [\text{m}^3]; \quad (5.4.11)$$

$$D_1 = D_b + 2h_r \text{tg} \beta. \quad (5.4.12)$$

Din relațiile (5.4.10), (5.4.11), (5.4.12) se determină

$D_1, h_r, V_r$ :

$$V_r = 0,10 \cdot V_0 = 0,0725 \text{ m}^3.$$

$$\beta = 45^\circ \Rightarrow h_r = \frac{D_1 - D_b}{2}$$

$$0,0725 = \frac{\pi}{12} \cdot \frac{D_1 - D_b}{2} (D_1^2 + D_1 D_b + D_b^2) [\text{m}^3],$$

$$D_1^3 - D_b^3 = 0,554 ; D_1 = 2,130 \text{ m} ; h_r = 0,020 \text{ m}.$$

Pentru a se determina diametrul  $D_2$  la baza pereților se admite o înălțime deasupra pragului:  $h' = 50-100 \text{ mm}$  necesară pentru a se feri baza pereților de spumarea zgurii:

$$D_2 = D_1 + 2h' \text{tg} \beta [\text{m}]. \quad (5.4.13)$$

Alegem :  $h' = 0,070 \text{ m}.$

$$D_2 = 2,130 + 0,070 = 2,200 \text{ m}.$$

Verificarea dimensiunilor principale ale vetrei se face folosind relația care ne dă valoarea suprafeței specifice:

$$\xi = \frac{S}{P} = \frac{\pi D_b^2}{4P} \quad ; \quad D_b' = \sqrt{\frac{4P\xi}{\pi}} .$$

Valorile uzuale ale suprafeței specifice  $\xi$  la cuptoarele electrice cu arc se prezintă în figura 5.1.2

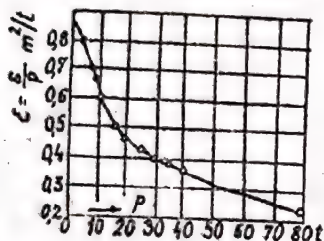


Fig. 5.1.2. Variația suprafeței specifice cu capacitatea cuptorului

sînt necesare o serie de măsuri tehnologice (utilizarea oxigenului, amestecare electromagnetică);

c)  $D_b \ll D_b'$  măsurile tehnologice utilizate pentru intensificarea procesului nu mai sînt eficiente. Oțelul elaborat este de calitate inferioară.

Pentru capacitatea cuptorului,  $P = 5 \text{ t} \Rightarrow \xi = 0,78$ .

$$D_b' = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,78 \cdot 5}{\pi}} , \Rightarrow D_b' = 2,229 \text{ m} .$$

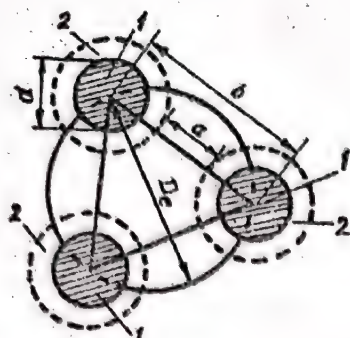
$\Rightarrow D_b < D_b'$  deci ne găsim în cazul b.

## 2. Dimensionarea spațiului de deasupra vetrei

Dimensionarea acestei zone a cuptorului se face cu scopul de a determina diametrul cercului pe care se găsesc electrozii.

Electrozii se amplasează cu centrele pe un cerc la  $120^\circ$  și deplasați cu  $30^\circ$  față de direcția ușă-orificiu de evacuare, pentru a nu deranja deservirea cuptorului și urmărirea mersului elaborării.





Diametrul cercului electrozilor se determină în funcție de diametrul electrodului  $d$  și distanța dintre doi electrozi, așezați în vîrfurile unui triunghi echilateral,  $b$ , fig. 5.1.3.

$$D_e = \frac{2b}{\sqrt{3}} \quad [\text{mm}], \quad (5.1.15)$$

$$b = 2d + a, \quad (5.1.16)$$

Fig. 5.1.3  
Plasarea electrozilor la cupatorul electric cu arc:  
1. electrozi; 2. perimetrul capetelor de prindere

unde:  $a$  - distanța dintre capetele de prindere;

$$a = 200 \div 400 \text{ mm}.$$

$$D = \frac{2(2d + a)}{\sqrt{3}} \quad [\text{mm}].$$

Utilizăm electrozi cu diametrul  $d = 300 \text{ mm}$ .

Alegem:  $a = 230 \text{ mm}$ .

$$D_e = \frac{2(2 \cdot 300 + 230)}{\sqrt{3}} = 960 \text{ mm}.$$

Diametrul mediu interior al pereților se calculează cu următoarea relație:

$$D_{im} = \frac{D_2 + D_3}{2} = k \cdot D_e \quad [\text{m}], \quad (5.1.17)$$

unde:  $k$  - constantă cu valorile: 2,0-2,5 pentru cupatoare mici;  
2,5-3,0 pentru cupatoare mari;

$D_2$  - diametrul la partea de sus a cupatorului:

$$D_3 = 2 D_{im} - D_2 \quad [\text{m}].$$

$$D_{im} = 2,47 \cdot 960 = 2400 \text{ mm}.$$

$$D_3 = 2 \cdot 2,4 - 2,200 = 2,6 \text{ m}.$$

Pentru calculul diametrului mantalei cilindrice folosim relația:

$$D_m = D_3 - 2e_3,$$

unde:  $e_3$  - grosimea peretelui la partea superioară,

$$e_3 = 350 \div 450 \text{ mm}.$$

$$D_m = 2,6 + 2 \cdot 0,4 = 3,4 \text{ m}.$$

Înălțimea spațiului de lucru  $H$ , se determină cu relația:

$$H = (0,32 - 0,40) D_m; \quad H = 0,35 \cdot 3,4 = 1,19 \text{ m}.$$

Înălțimea spațiului de lucru determinată, trebuie să verifice condiția:

$$\frac{H}{h} + h_r \geq 2,1 . \quad (5.1.19)$$

$$\frac{1,19}{0,466} + 0,02 = 2,57 > 2,1 .$$

Unghiul de înclinare ( $\delta$ ) al pereților se determină cu relația:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{D_3 - D_2}{2H} .$$

Valoarea  $\operatorname{tg} \delta$  trebuie să fie cuprinsă între limitele 0,1-0,2.

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{2,6 - 2,2}{2 \cdot 1,19} = 0,168 ,$$

$$\delta = 6^\circ .$$

### 3. Dimensionarea bolții

Pentru zidirea bolții se determină valoarea corespunzătoare săgeții bolții "t" și razei "r" a curburii zidăriei.

Dimensionarea se face în funcție de diametrul muntelui care corespunde aproximativ deschiderii bolții:

$$t = (0,10 \dots 0,20) D_m ; \quad (5.1.20)$$

$$r = \frac{D_m}{2 \sin \alpha} , \quad (5.1.21)$$

unde  $\alpha = 30^\circ + 35^\circ$ ; alegem  $\alpha = 30^\circ$ .

$$t = 0,10 \cdot 3,4 = 0,34 \text{ m} .$$

$$r = \frac{3,4}{2 \cdot \frac{1}{2}} = 3,4 \text{ m} .$$

Pentru cuptoare cu capacitatea sub 10 t grosimea bolții este de 230 mm.



## LUCRAREA NR. 5.2.

### TEHNOLOGIA ELABORĂRII OTELURILOR ÎN CUPTOARE ELECTRICE CU INDUCȚIE

#### 1. Considerații teoretice

Pentru elaborarea oțelurilor se folosesc două tipuri de cuptoare cu inducție:

- fără miez (cu creuzet);
- cu miez (cu canal deschis sau închis).

Avantajele utilizării cuptorului cu inducție față de cuptorul electric cu arc constau în următoarele:

- productivitate ridicată a cuptorului;
- încălzirea uniformă a băii metalice;
- poate fi pus și acs din funcțiune cu ușurință;
- realizarea unei mișcări a băii metalice, care asigură o omogenizare a compoziției chimice și o uniformizare a temperaturii;
- reglarea puterii se face simplu, iar condițiile de exploatare sînt ușoare.

Dezavantajele cuptorului cu inducție constau în următoarele:

- o temperatură scăzută a zgurii ceea ce îngreuează operația de îndepărtare a acestora și face imposibile reacțiile dintre oțelul lichid și zgură;
  - căptușeala bazică necesară la elaborarea oțelurilor mangajonese este puțin rezistentă;
  - costul ridicat al cuptorului și instalațiilor aferente.
- Cele mai utilizate cuptoare cu inducției în turnătoriile de oțel sînt cele fără miez.

Cuptorul cu inducție fără miez constă dintr-un creuzet din materiale refractare, înconjurat de o țeavă de cupru răcită cu apă. Teava de cupru formează inductorul.

Din punct de vedere electric, cuptorul funcționează ca un transformator, primarul transformatorului fiind serpentina din cupru, în timp ce secundarul este oțelul din creuzet (indusul).

Inductorul este alimentat cu curent alternativ și creează în jurul său un cîmp electromagnetic variabil care induce în materialul metalic din creuzet curenți turbionari, Foucault,

care încălzesc metalul și-l topesc.

Cuptorul cu inducție este indicat numai pentru elaborarea oțelurilor aliate.

## 2. Instalația experimentală

Experimentările se vor face într-un cuptor cu inducție fără miez cu o capacitate de 75 kg.

În fig. 5.2.1 se prezintă cuptorul cu inducție și părțile sale componente iar în fig. 5.2.2 schema bloc a instalației de topire cu inducție.

Caracteristicile principale ale cuptorului cu inducție sunt următoarele:

- frecvența de lucru 8000 Hz;
- putere nominală 100 kW;
- durata relativă de serviciu 100% (regim continuu);
- timp de topire mediu 45 min. pentru sarcină de oțel carbon cu 0,45%C;
- tensiune de alimentare de la rețea 3x380 V;
- frecvența rețelei 50 Hz;
- curent 24 A;
- puterea pulsată de la rețea cca 125 kW trifazic + cca 1 kW monofazic;
- tensiunea nominală de medie frecvență 730 V;
- curent nominal de MF 180 A;
- factor de putere optim de MF capacitiv 0,9;
- curent maxim de excitație cca 20 A;
- convertizor vertical, foarte silențios răcit cu apă;
- baterie de condensatoare de MF cca 3000 kVAR din care cca 800 kVAR
- condensatoare răcite cu apă;
- controlul apei de răcire cu avertizare de presiune și temperatură;
- basculare hidraulică la cca 100°;
- diametrul interior al inductorului 290 mm;
- lungimea inductorului 462 mm;
- numărul de spire 8x3/4;
- conectoare prin oușite răcite cu apă;



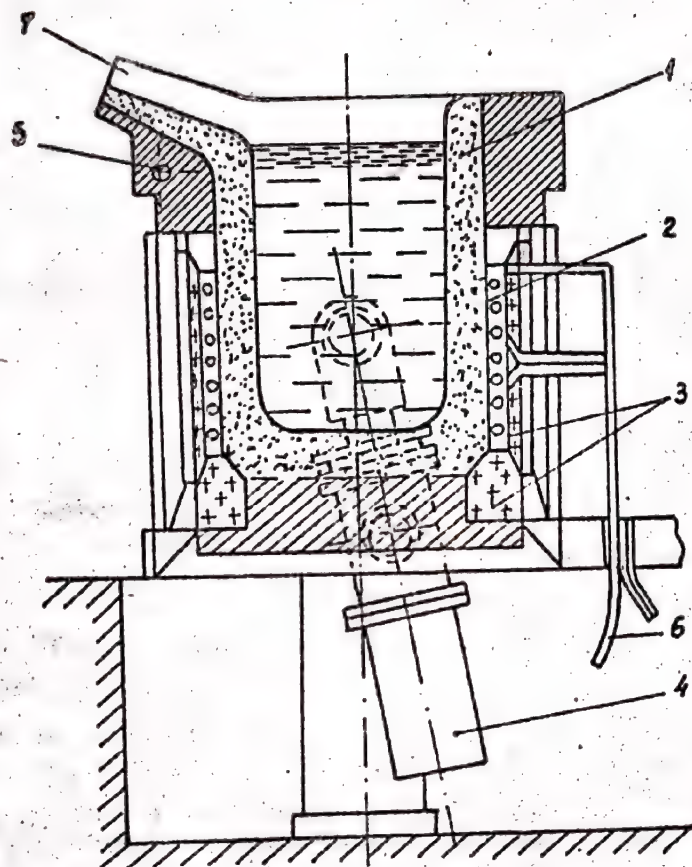
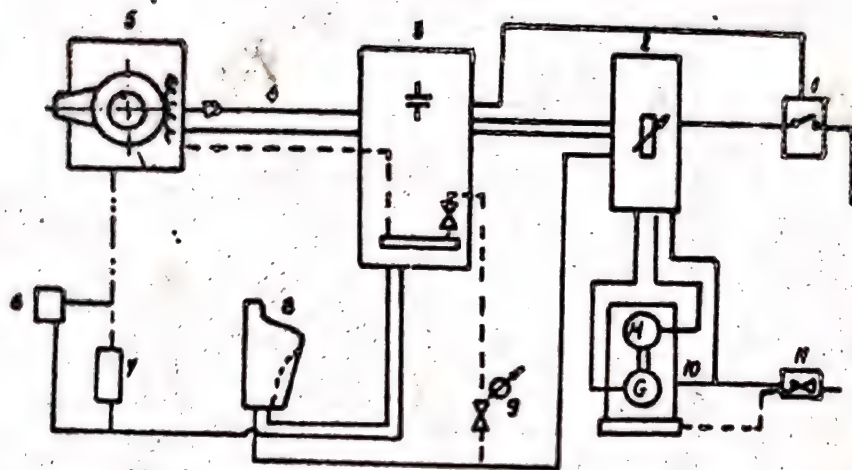


Fig.5.2.1. Cuptor electric cu inducție, cu creuzet  
1-creuzet; 2-înfășurarea primară; 3-eoran  
magnetic; 4-cilindru hidraulic; 5-axul de  
basculare; 6-cabluri flexibile; 7-jgheab  
de évacuare



**Fig.5.2.2. Schema bloc a instalației de topire cu inducție la medie frecvență**

- 1-tablou de distribuție; 2-panou comandă și reglare; 3-baterie de condensatoare;  
 4-bare de legătură MF; 5-cuptor de topire;  
 6-pupitru comandă-basculare; 7-grup hidraulic;  
 8-pupitru comandă-supraveghere; 9-alimentator apă; 10-convertizor rotativ;  
 11-grup răcire convertizor
- circuit electric  
 circuit de răcire  
 circuit hidraulic



### 3. Modul de lucru

Se elaborează o garjă de oțel refractar T20SNC 250, cu următoarea compoziție chimică : C = 0,25% ; Si = 1,5 - 2,5% ; Mn = 1,5% ; Cr = 23- 27 % ; Ni = 18 - 21% , S = 0,030% ; P = 0,040%

Căptuseala cuptorului este acidă fiind realizată din cuarțită, ca liant folosindu-se acidul boric 1,8 - 20 kg.

Compoziția chimică a cuarțitei folosite este următoarea  $\text{SiO}_2$  - min 98% ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - max 0,6% ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - max 0,8% , KO - max 0,3% oxizi  $\text{Na}_2\text{O}$  ,  $\text{K}_2\text{O}$  - max 0,3%.

Pentru o stampare bună se utilizează cuarțită cu mai multe compoziții granulometrice :

- făină de cuarțită 26 kg ;
- 0 - 0,5 mm , 20 kg ;
- 0,5 - 1,0 mm , 20 kg ;
- 1,0 - 2,0 mm , 20 kg ;
- 2,0 - 4,0 mm 14 kg .

Execuția căptuselei cuptorului începe cu stamparea fundului în straturi de câte 50 mm (în total 200 mm) pe care se așază un gablon cilindric din tablă de oțel cu grosimea de 4-8 mm. Sablonul este prevăzut cu orificii cu diametrul de 2...3 mm la distanță de 50 mm pentru a permite eliminarea vaporilor de apă proveniți din umezeala remanentă a căptuselei și din apa de constituție a cristalelor de acid boric.

În jurul gablonului se bate peretele creștetului cu o grosime de 130 mm în partea de jos și 90 mm în partea de sus.

După terminarea stampării se începe operația de sinterizare.

Sinterizarea se poate face după următoarea diagramă

- 1 h până la 90°C ;
- 2 h până la 210°C în 3 trepte ;
- 2 h până la 600°C în 3 trepte ;
- 2 h până la 900°C în 3 trepte ;
- 1/2 h pentru supraîncălzirea fontei .

La elaborarea oțelurilor înalt aliate încălzirea metalică trebuie să fie curată, fierul vechi neruginit, fără P și S.

Încălzirea pentru o garjă de 70 kg este alcătuită din fier vechi curat 14,7 kg, deseuri din oțel aliat cu o compoziție cât mai apropiată de a oțelului elaborat 21 kg, nichel electrolitic, ferocrom, ferossiliciu 75 , feromangan afinat 92.



### 3.1. Calculul încălzirii

Calculul încălzirii și bilanțul de materiale se fac pentru 100 kg.

Cantitatea de elemente necesare pentru elaborarea a 100 kg oțel este următoarea:

$$- \langle \% C \rangle = \frac{[\% C]_{\text{final}}}{100 - a_C} \cdot 100 \text{ [kg C / 100 kg]},$$

unde:  $[\% C]_{\text{final}}$  - conținutul de carbon al mărcii de oțel care se elaborează;

$a_C$  - arderea carbonului, 5-10%.

Valorile superioare corespund oțelurilor slab aliate și nealiate, iar cele inferioare oțelurilor aliate.

$$- \langle \% Mn \rangle = \frac{[\% Mn]_{\text{final}}}{100 - a_{Mn}} \cdot 100, \quad [\text{kg Mn/100 kg}]$$

unde:  $a_{Mn} = 10 - 20\%$ .

$$- \langle \% Si \rangle = \frac{[\% Si]_{\text{final}}}{100 - a_{Si}} \cdot 100, \quad [\text{kg Si/100 kg}]$$

unde:  $a_{Si} = 10 - 20\%$ .

$$- \langle \% Cr \rangle = \frac{[\% Cr]_{\text{final}}}{100 - a_{Cr}} \cdot 100, [\text{kg Cr/100 kg}]$$

unde:  $a_{Cr} = 7 - 17\%$  pentru oțelurile cu 6 - 27 % Cr.

Pentru oțelurile cu mai puțin de 5% Cr se adoptă  $a_{Cr} = 3-5\%$ .

$$- \langle \% Ni \rangle = \frac{[\% Ni]_{\text{final}}}{100 - a_{Ni}} \cdot 100, \quad [\text{kg Ni/100 kg}]$$

unde:  $a_{Ni}$  - neglijabilă.

Cantitatea de elemente adusă de încălzirea metalică este :

$$\langle \% C \rangle = \frac{x}{100} \langle \% C \rangle_{\text{fe.v}} + \frac{y}{100} \langle \% C \rangle_{\text{degeuri}}, [\text{kg/100 kg}]$$

$$\langle \% Mn \rangle = \frac{x}{100} \langle \% Mn \rangle_{\text{fe.v}} + \frac{y}{100} \langle \% Mn \rangle_{\text{degeuri}}, [\text{kg/100 kg}]$$

$$\langle \% Si \rangle = \frac{x}{100} \langle \% Si \rangle_{\text{fe.v}} + \frac{y}{100} \langle \% Si \rangle_{\text{degeuri}}, [\text{kg/100 kg}]$$

$$\langle \% Cr \rangle = \frac{y}{100} \langle \% Cr \rangle_{\text{degeuri}}, \quad [\text{kg/100 kg}]$$

$$\langle \% Ni \rangle = \frac{y}{100} \langle \% Ni \rangle_{\text{degeuri}}, \quad [\text{kg/100 kg}]$$

$$\langle \% P \rangle = \frac{x}{100} \langle \% P \rangle_{\text{fe.v}} + \frac{y}{100} \langle \% P \rangle_{\text{degeuri}}, [\text{kg/100 kg}]$$



equal /i:kwɛl/ - egal, o egala

equally /i:kwəli/ - egal, la fel  
linistit

escape /i'skeɪp/ - scapa, evade  
fuga, sugere, evita

a scapa, a fugi, a nu-si aduce

price /praɪs/ - pret, <sup>ominte</sup> sacrificiu, valoare  
whst ~ - cat <sup>o exolu</sup> casto? ce pret, are

cum se poate distine?

every man has his ~~pr~~ price - cu  
banii cumperi pe oricine

exclude /iks'klu:d/ - a exclude, o nu

excel /ik'sel/ - a depasi, a excela <sup>primi</sup>

except /ik'sept/ - a excepta, fara,  
a omite

~ for - in afara de

~ that, doar ca, o tara

exception /ik'sepʃn/ - exceptie,

excepting /ik'septɪŋ/ - <sup>obiectie</sup> cu exceptia

exceptional /ik'sepʃənl/ - exceptional

has /hæz, əz, hæz/ - pret. de a have

his /hɪz/ - lui, sau, sa, sai, sale  
al lui, o lui, ai lui, ale lui.

HB. 229 (220)

$$- \langle \% S' \rangle = \frac{x}{100} \langle \% S \rangle_{fe.v} + \frac{y}{100} \langle \% S \rangle_{degeuri} \quad [kg/100 kg]$$

unde: x, y - cantitatea de fier vechi și respectiv degeuri, pentru 100 kg încălătură.

### 3.1.1. Calculul cantității de feroaliaje și de elemente de aliere

Pe baza compoziției mărcilor de feroaliaje și a elementelor de aliere folosite, se calculează cantitățile necesare cu formulele:

$$Q_{\text{feroaliaj}} = \frac{\langle \% E \rangle - \langle \% E' \rangle}{\% E_{\text{feroaliaj}}} \cdot 100 \quad [kg/100 kg]$$

$$Q_{\text{el.aliere}} = \frac{\langle \% E \rangle - \langle \% E' \rangle}{\% E_{\text{el.aliere}}} \cdot 100 \quad [kg/100 kg]$$

Dacă feroaliajele aduc în baia metalică două elemente de aliere sau mai multe, necesarul de feroaliaje se determină din ecuațiile de bilanț ale cantităților de elemente ce trebuie adăugate.

Considerăm două feroaliaje A și B care aduc în baia metalică elementele a și b.

Cantitățile de feroaliaje A și B necesare pentru a introduce în baie cantitățile  $q_a$  și  $q_b$  se determină din ecuațiile:

$$\begin{cases} q_a = Q_A \cdot \frac{\% a}{100} + Q_B \cdot \frac{\% a}{100} \\ q_b = Q_A \cdot \frac{\% b}{100} + Q_B \cdot \frac{\% b}{100} \end{cases}$$

### 3.1.2. Calculul cantității de carbon adusă de feroaliaje

Cantitatea de carbon adusă de feroaliaje se determină cu relația:

$$Q_c = \sum C_{\text{feroaliaj} + \text{el.aliere}} = \sum Q_{\text{feroaliaj} + \text{el.aliere}} \cdot \frac{\% C}{100}$$

Cantitatea de carbon necesară pentru asigurarea carbonului din încălătură:

$$Q_{c \text{ nec}} = \langle \% C \rangle - \langle \% C' \rangle - Q_c \cdot [kg C/100 kg]$$

Necesarul de carbon se asigură cu ajutorul cocsului petrol care se aruncă peste baia metalică:



$$Q_k = Q_c \text{ nes} \cdot \frac{100}{\% C_{\text{coca}}} \cdot \frac{1}{100 - a_c} \cdot 100 \cdot [\text{kg} / 100 \text{ kg}]$$

$$a_c = 0,02\%$$

### 3.1.3. Calculul cantității și compoziției zgurei

Zgura provine :

- din încărcătură :

$$(Si)_{\text{ars}} = \langle \% Si \rangle - [\% Si], [\text{kg} / 100 \text{ kg}]$$

$$(Mn)_{\text{ars}} = \langle \% Mn \rangle - [\% Mn], [\text{kg} / 100 \text{ kg}]$$

$$(Cr)_{\text{ars}} = \langle \% Cr \rangle - [\% Cr], [\text{kg} / 100 \text{ kg}]$$

$$(Fe)_{\text{ars}} = 1 - 2 \text{ kg} \cdot [\text{kg} / 100 \text{ kg}]$$

Elementele trec în zgură sub forma oxizilor:

$$(SiO_2) = Si_{\text{ars}} \cdot \frac{M_{SiO_2}}{M_{Si}}, [\text{kg} / 100 \text{ kg}]$$

$$(Cr_2O_3) = Cr_{\text{ars}} \cdot \frac{M_{Cr_2O_3}}{M_{Cr}}, [\text{kg} / 100 \text{ kg}]$$

$$(MnO) = Mn_{\text{ars}} \cdot \frac{M_{MnO}}{M_{Mn}}, [\text{kg} / 100 \text{ kg}]$$

$$(FeO) = Fe_{\text{ars}} \cdot \frac{M_{FeO}}{M_{Fe}}, [\text{kg} / 100 \text{ kg}]$$

- din zidărie:

Se consideră că la 100 kg încărcătură se zgurifică 1 kg zidărie. Pe baza compoziției zidăriei prezentată la punctul 3 se calculează cantitățile de oxizi care trec în zgură.

Zgurile acide se formează prin topirea unor bucăți de sticlă care se pun pe încărcătură. Sticlele tehnice sînt din sistemul  $Na_2O - CaO - SiO_2$ , în care se găsește peste 70%  $SiO_2$

$$Q_{Na_2SiO_3} = 0,7 \dots 0,8 \text{ kg} / 100 \text{ kg}$$

Cantitatea totală de zgură va fi

$$Q_{\text{zgură}} = Q_{\text{zg inc}} + Q_{\text{zg zid}} + Q_{Na_2SiO_3}$$

### 3.2. Pregătirea instalației pentru pornire

Se cîntăresc cantitățile necesare de degeuri, feroaliaje, elemente de schimb.

Se verifică starea creuzetului, a gării de scurgere, aşezarea ceretă în cuşite, mecanismul de basculare şi conectarea corectă a furtunurilor de apă.

Se deschide robinetul principal al instalației de răcire cu apă reglindu-se debitul de apă.

Se încărcă în cuptor circa 40 kg material. Pe fundul creuzetului se așază fierul vechi mărunț și puțin ferosiiliciu, apoi degeurile aliate, nichelul, circa 25% din ferocrom și apoi bucățile mari de fier vechi și degeuri aliate. Restul bucăților mici se încarcă după ce încărcătura s-a mai tasat în urma topirii parțiale.

După verificarea poziției butonului de comandă se declanșează întrerupătorul principal și se verifică prezența tensiunilor pe cele trei faze.

### 3.3. Pornirea instalației, verificarea și punerea în sarcină

După verificarea prezenței și valorilor tensiunilor pe cele trei faze se pornește motorul. După cca 40 s motorul trece automat pe conectare directă în triunghi. Curentul de mers în gol al motorului convertizorului este de cca 50 A. Reostatul de excitație se rotește complet spre stînga. Se apasă butonul de conectare a excitației iar butonul "blocare" rămîne în poziția blocat.

În continuare se rotește spre dreapta reostatul, pînă cînd voltmetrul MF arată 750 V.

Pot apare mai multe situații:

- voltmetrul arată 750 V dar ampermetrul și wattmetrul arată valori mici. În acest caz se reduce excitația, prin rotirea reostatului spre stînga, și se rotește maneta "acord" cu o treaptă. Manevra se repetă pînă instalația debitează 750 V și 180 A.

- ampermetrul după ce urcă spre 180 A, deconectează releul de supracurent, în timp ce voltmetrul nu poate urca spre 180 A. În acest caz se deconectează excitația, se blochează instalația și se scoate din circuit unul din condensatoarele bateriei de condensatori.

### 3.4. Topirea

Se recomandă pentru topirea încărcăturii metalice următorul regim electric:

- tensiunea la începutul topirii de 650-750 V și imediat după formarea băii metalice de 750 V;
- intensitatea curentului de 75 - 120 V fără variații aleatoare în cadrul aceleiași perioade a garjei;



- factorul de putere între 0,8 - 0,97
- puterea indusă la începutul topirii 80 kW, iar după formarea băii 100 kW. Pentru încălzirea cu grad mare de compactitate se recomandă puterea indusă 120 kW.

### 3.5. Dezoxidarea și corectarea compoziției

După ce toată încălzirea metalică s-a topit iar temperatura băii este suficient de ridicată, se îndepărtează zgura și se dezoxidează prin precipitare cu ferosiliciu. În finalul dezoxidării cu ferosiliciu se adaugă restul de crom și apoi feromanganul afinat. Mișcarea de agitare a băii accelerează topirea ferelialelor.

Dezoxidarea se completează cu alumină 0,100 kg/100 kg.

După dezoxidare se menține oțelul fără curent, sau curentul este redus la o treime, până când temperatura corespunde condițiilor de turnare. În timpul acestei perioade, mișcarea de agitare în plan vertical, este încetă, zgura acoperă bine suprafața băii metalice, iar produsele de dezoxidare urcă la suprafață ajutate de mișcarea lentă a băii.

### 3.6. Evacuarea și turnarea

După îndepărtarea zgurei de la suprafața oțelului, se evacuează oțelul în oala de turnare.

Temperatura de evacuare a oțelului trebuie să fie cuprinsă între 1600-1650°C, iar temperatura de turnare 1560°C. Măsurarea temperaturii în oala de turnare se face cu un termocuplu de imersie.

Durata șarjei este de circa 1 oră.

LUCRAREA NR. 5.3.

POSSIBILITATI DE MODIFICARE A INCLUZIUNILOR NEMETALICE  
IN OTELURILE TURNATE IN PIESE

1. Considerații teoretice

Un domeniu important în care se manifestă influența redistribuirii elementelor în timpul procesului de schimbare a stării de agregare este cel al segregării impurităților la solidificarea dendritică a pieselor din oțel, deoarece oxigenul dizolvat în oțelul lichid poate intra în reacție cu alte elemente dizolvate.

Scopul procesului de dezoxidare constă în mișcarea conținutului oxigenului dizolvat în baia metalică, până la limitele la care nu mai influențează negativ proprietățile oțelului și eliminarea produselor de dezoxidare formate.

În funcție de timpul de formare al incluziunilor nemetalice în procesul de dezoxidare și solidificare a oțelului se poate face pentru produsele de dezoxidare următoarea clasificare:

- incluziuni primare, formate imediat după adăugarea dezoxidantului în baia metalică;
- incluziuni secundare, formate în timpul răcirii oțelului până la temperatura lichidus;
- incluziuni terțiare formate în timpul răcirii, între temperaturile lichidus și solidus, în zona bifazică;
- incluziuni formate în timpul răcirii oțelului în domeniul de temperaturi  $\delta$  și  $\gamma$ .

La solidificarea oțelului în lingouri sau piese, ca urmare a redistribuirii oxigenului între faza solidă și faza lichidă, are loc o îmbogățire locală în oxigen, având ca efect depășirea valorilor de echilibru și formarea de incluziuni nemetalice.

Acest tip de incluziuni nemetalice este diferit de cele formate în cuptorul de elaborare sau în oala de turnare, incluziunile rămânând înglobate între ramurile dendritelor. Deoarece aceste incluziuni nu pot fi practic eliminate din oțel, se impune găsirea de soluții tehnologice care să conducă la obținerea unor incluziuni nemetalice cu o formă și o morfologie adecvată destinației mărcii de oțel elaborate.

Procesul de dirijare a compoziției, morfologiei și formei incluziunilor nemetalice din oțeluri poartă denumirea de modifika-



rea incluziunilor nemetalice.

Este necesar de asemenea, ca produsele primare și secundare de dezoxidare să poată fi eliminate din oțelul lichid până la limite foarte scăzute, într-un timp cât mai scurt, lucru posibil dacă se are în vedere procesul de modificare a incluziunilor nemetalice.

Una din posibilitățile de modificare a incluziunilor nemetalice, constă în injectarea în baia de oțel lichid de calciu metalic, pulbere de var, silicocalciu etc.

INJECTIA reprezintă unul din procedeele moderne de tratare a oțelului lichid în oală sau agregatul de elaborare înlocuind diferitele căi de transport a adaosurilor în oțel.

Metalurgia prin injecție este o aplicație logică a condiției optime pentru transferul de masă, prin ea realizându-se condițiile corespunzătoare desfășurării procesului metalurgic.

Eficiența acestei metode se poate deduce din analiza legii întâi a lui Fick:

$$n_0 = \frac{D}{\delta} A \Delta C$$

unde:  $n_0$  - fluxul de agent injectat;  
 $D$  - coeficientul de difuzie;  
 $\delta$  - grosimea stratului limită;  
 $A$  - suprafața de contact;  
 $\Delta C$  - gradientul de concentrație.

Deoarece procesele metalurgice dintr-o baie de oțel se desfășoară într-un ecart relativ mic de temperatură, coeficientul de difuzie nu se poate modifica spre deosebire de aria de reacție  $A$ .

Suprafața de contact poate fi mărită prin pulverizarea adaosurilor solide, procedeul injecției conducând la reacții mult mai eficiente.

Ca urmare, la injecția pulberilor în baia de oțel lichid se vor obține:

- suprafețe mari de reacție;
- timp de reacție mai lung;
- randament mare al adaosurilor;
- efectul de agitare a băii
- cu avantajele pe care le implică;
- materialele care au presiuni ridicate de vapori pot fi injectate cu bune randamente.

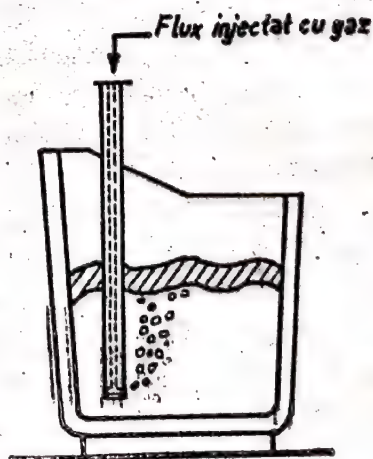


Fig.5.3.1. Schema de injecție

În general procesul de injectare a pulberilor, figura 5.34. poate fi caracterizat prin trei faze distincte:

- contactul particulă-oțel lichid;
- dispersia particulei;
- dizolvarea particulei în baia de oțel lichid.

Din punct de vedere termodinamic calciul și magneziul sînt unii dintre cei mai puternici agenți care formează oxizi și sulfuri și care se utilizează pentru obținerea unor incluziuni nemetale cu o formă și morfologie adecvată.

Efectul calciului ca agent de dezoxidare se manifestă atît prin conținuturi scăzute de oxigen în baia metalică de oțel cît și prin modificarea formei incluziunilor nemetale. Creșteri foarte mici ale conținutului de calciu dizolvat în oțelul lichid, dezoxidat în prealabil cu aluminiu, modifică incluziunile precipitate la răcire și solidificare cu formarea unor aluminati de calciu, figura 5.3.2.

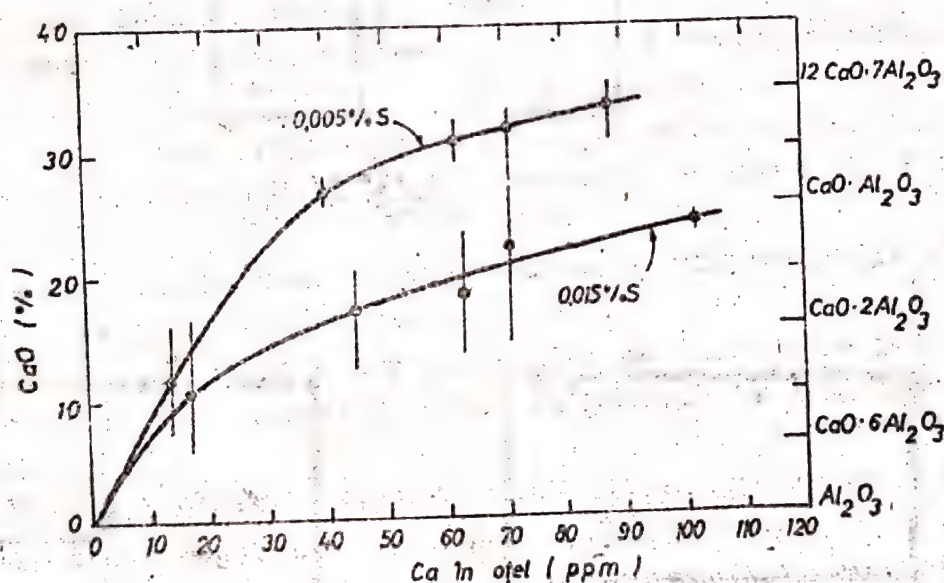
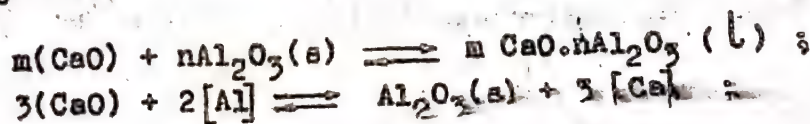


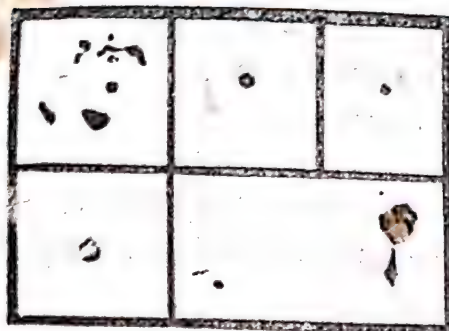
Fig. 5.3.2. Influența calciului dizolvat în oțel asupra compoziției incluziunilor endogene.

Modificările morfologiei incluziunilor endogene produse prin creșterea conținutului de calciu în oțeluri tratate cu aluminiu sînt arătate în figura 5.3.3.

Anelizele la microsonda electronică a incluziunilor nemetale din oțel confirmă faptul că procesele se desfășoară pe baza reacțiilor:







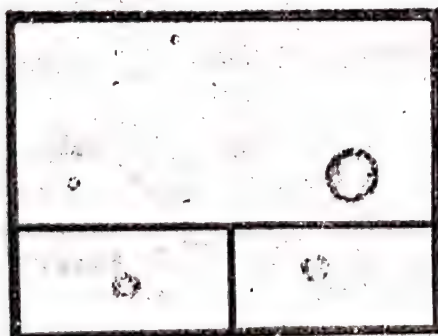
Conținut de Ca în oțel 14 ppm;  
Incluziuni din sistemul:  
 $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$



Conținut de Ca în oțel 40 ppm;  
Incluziuni din sistemul:  
 $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$



Conținut de Ca în oțel 62 ppm;  
Incluziuni din sistemul:  
 $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$

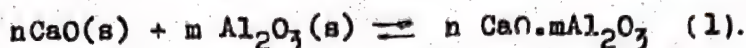


Conținut de Ca în oțel 71 ppm;  
Incluziuni din sistemul:  
 $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$



Conținut de Ca în oțel 88 ppm;  
Incluziuni din sistemul:  
 $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$

Fig.5.3.3. Incluziuni nemetalice în oțeluri cu 0,005% S



## 2. Instalația experimentală.

Instalația utilizată este formată din două containere, unul avînd rol de cameră de fluidizare, iar celălalt de buncăr pentru pulbere. Cele două sînt legate unul de celălalt printr-o supapă care face posibilă umplerea camerei de fluidizare în timpul injecției. Între containere există un tub cu o supapă de egalizare a presiunii.

În interiorul camerei de fluidizare este plasat, în centru, un con de fluidizare care este legat de tubul de transport al amestecului fluidizat. Acesta se continuă afară prin partea superioară a camerei de fluidizare.

Gazul de fluidizare, argonul, este introdus în camera de fluidizare prin orificiul situat în centrul piesei conice. La partea de admisie a gazului există o supapă care împiedică pulberea să curgă în tubul de admisie a gazului.

Viteza de curgere se controlează prin variația debitului de curgere a agentului fluidizant. La aproximativ 0,5 - 1 l/min, pulberea este păstrată fluidizată fără a ajunge în exterior, în timp ce la debite de 8-10 l/min amestecul fluidizat va fi purtat afară.

Camera de fluidizare este vibrată cu ajutorul unui vibrator cu bile care funcționează cu aer comprimat.

La partea inferioară a buncărului de pulbere se găsește un dozator melcat, cu ajutorul căruia se stabilește cantitatea de pulbere injectată.

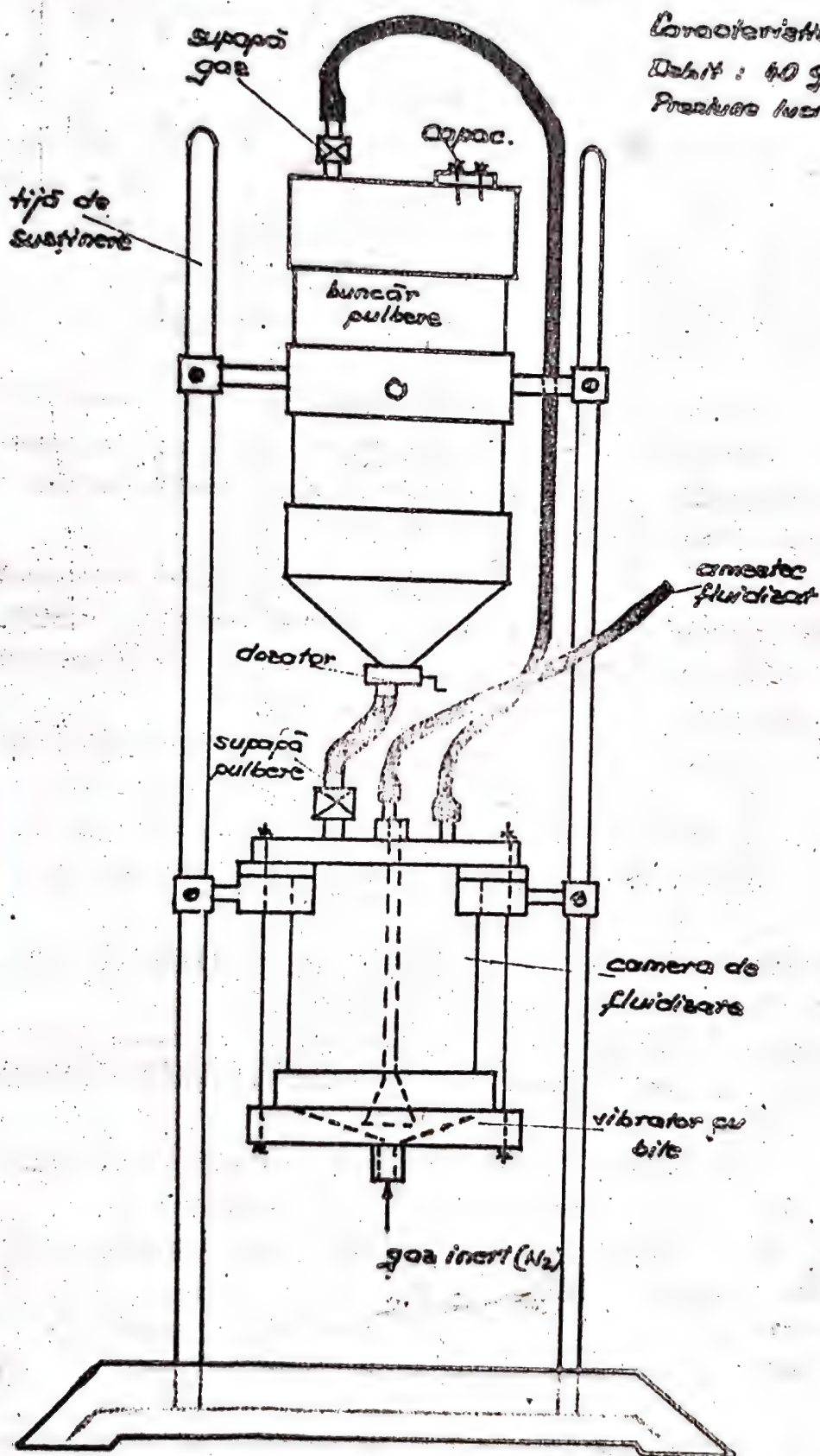
Întregul ansamblu care formează instalația de injectare este prins pe doi tiranți într-un suport de susținere.

Camera de fluidizare este prinsă de tiranți prin intermediul a două semicoliere, bandajate cu cauciuc zimțat pentru a i se permite vibrarea. Legătura dintre dozator și camera de fluidizare se face prin intermediul unui tub de cauciuc, din aceleași conșiderențe.

Instalația de injecție are în componență o lance de injecție confecționată din materiale refractare.

Pentru elaborarea oțelului se folosește cu cuptor cu inducție cu capacitatea de 100 kg, cu căptușeală bazică care lucrează la o frecvență de 250 Hz și o putere instalată de 125 Kw.





Caracteristici tehnice: ,  
 Debit : 40 g/min  
 Presiune lucru :  $4.8 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Fig.5.3.4. Instalație experimentală

### 3. Modul de lucru și rezultate experimentale

Experimentările se fac pe un oțel dezoxidat în prealabil cu aluminiu, cantitatea de oțel elaborată fiind de 50 kg.

Incercările sînt axate pe utilizarea pulberii de  $\text{CaO}$  injectate în baia de oțel lichid avînd ca agent purtător argonul.

Se prelucreează probe după cum urmează:

$P_0$  - înainte de dezoxidare;

$P_1$  - după dezoxidarea cu aluminiu;

$P_2 \dots P_6$  probe prelevate după începerea injectării pulberii de  $\text{CaO}$  la interval de 1 minut.

Probele preluate pe durata experimentării vor fi analizate metalografic și la microsonda electronică.

Examinarea probelor se va face pe suprafețe lustruite și neatacate.

Operația de pregătire se va face cu grijă pentru a nu smulge particulele nemetalice în timpul lustruirii.

Se va urmări tendința de schimbare a formei incluziunilor nemetalice.

Analizele la microsonda electronică vor urmări repartiția elementelor în incluziunile nemetalice.

#### Concluzii

Se vor trage concluzii referitoare la influența pulberii de  $\text{CaO}$  asupra morfologiei incluziunilor nemetalice comparativ cu efectul calciului metalic.



LUORAREA nr. 5.4.

DESULFURAREA OTELULUI TURNAT ÎN PIESE  
ÎN AFARA AGREGATULUI DE ELABORARE

1. Considerații teoretice

Sulful este un element cu o puternică acțiune negativă asupra proprietăților oțelului destinat turnării de piese. La turnare sulful mărește viscozitatea oțelului, iar la solidificare manifestă o tendință spre o segregare puternică. Eutecticul care conține 30,9% S și 69,1% Fe, cu punctul de topire 985°C, formează la solidificare pelicule fine în zona cristalelor primare, ceea ce, în cazul unei concentrații mari de sulf duce la fragilizarea la cald a oțelului și la apariția fisurilor. În stare solidă sulful se separă sub formă de incluziuni, influența negativă a acestora manifestându-se în special asupra plasticității oțelului.

Înlăturarea sulfului din oțel se face cu atât mai ușor cu cât capacitatea de asimilare a zgurei este mai mare, adică cu cât este mai mare valoarea coeficientului de repartiție.

Cea mai des utilizată este desulfurarea cu calciu, adăugat sub formă de CaO, conform reacției:



cu constanta de echilibru:

$$K_S = \frac{a(\text{CaS}) \cdot a(\text{FeO})}{a[\text{FeS}] \cdot a(\text{CaO})} \quad (2)$$

și raportul de repartiție al sulfului între zgură și baia metalică:

$$L_S = \frac{(\text{S})}{[\text{S}]} = K_S \frac{(\text{CaO})}{(\text{FeO})} \quad (3)$$

Se poate afirma că se obține o bună desulfurare prin utilizarea unei zgure bogate în CaO și săracă în FeO.

Calciul și ceriul prezintă cea mai mare capacitate de desulfurare. Deoarece elementele cu afinitate mare față de sulf au și o mare afinitate față de oxigen, înaintea desulfurării se

reduce conținutul de oxigen din oțel, prin introducerea unor dez-oxidanți corespunzători.

Având în vedere faptul că posibilitățile de desulfurare a oțelului în agregatul de elaborare sînt limitate și legate de productivitatea acestuia, cerințele mereu crescînde față de proprietățile și puritatea oțelului au dus la dezvoltarea procedee-  
lor de tratare a oțelului în afara cuptorului.

Tehnologia de insuflare a unor reactivi pulverulenți în oțelul lichid reprezintă cel mai eficient procedeu de tratare a oțelului în afara cuptorului, permițînd o desulfurare avansată. Această tehnologie permite obținerea unor conținuturi foarte scă-  
zute de sulf, sub 0,005% și chiar pînă la 0,002%. Gradele de de-  
sulfurare obținute prin utilizarea amestecului de var și fluoru-  
ră sau silicocalciu au fost de min. 90%.

Prin utilizarea unor desulfuranți pe bază de calciu me-  
talic pe lîngă o desulfurare avansată a oțelului se realizează  
concomitent și modificarea incluziunilor nemetalice obținîndu-se  
oțeluri cu proprietăți superioare.

În tabelul 5.1 se prezintă compoziția și consumul de  
agent desulfurant în vederea obținerii unor grade de desulfurare  
de  $\approx 90\%$ .

Tabelul 5.1.

Compoziția și consumul de agent desulfurant

Reactiv	Compoziția chimică a reactivului, %	Consumul de desul- furant, kg/t	Consumul necesar de desul- furant pentru obținerea unui grad de desul- furare de 90%, kg/t
SiCa	62 Si; 0,8 Al; 30 Ca	2 - 4,5	3,87
CaC <sub>2</sub>	80 CaC <sub>2</sub> ; 15 CaO	1 - 3	2,32
CaCN <sub>2</sub>	55 CaCN <sub>2</sub> ; 33 CaO; 12 C	0,4 - 1	4,22
Mg (CaO/CaF <sub>2</sub> )	5-20 Mg;	3,0 - 3	2,2
CaO/CaF <sub>2</sub>	90 CaO; 10 CaF <sub>2</sub>	3 - 6	2,3
CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50 CaO; 50 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 - 5	4
CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -CaF <sub>2</sub>	70 CaO; 20 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 10 CaF <sub>2</sub>	1 - 5	3



Utilizarea acestei metode permite pe lângă desulfurarea avansată a oțelului, creșterea productivității agregatului, de elaborare, îmbunătățirea proprietăților de turnare, utilizarea fontei de afinare, care constituie principala sursă de sulf, în încărcătură, îmbunătățirea calității oțelului.

## 2. Instalația experimentală

Pentru efectuarea experimentărilor se va folosi instalația experimentală prezentată în lucrarea 5.3. Ca agent purtător se utilizează argonul sau azotul.

Oala utilizată pentru desulfurare va fi prevăzută cu un capac care previne degajările, reduce pierderile de căldură și micșorează oxidarea oțelului.

O importanță deosebită prezintă căptușeala oalei deoarece tipul căptușelii determină conținutul de oxigen din oțel și implicit conținutul remanent de sulf la desulfurare. În oala cu căptușeală acidă nu se vor obține conținuturi scăzute de sulf deoarece are loc un proces de difuzie a oxigenului din căptușeală în oțelul lichid datorită gradientului de concentrație. Prin căptușirea oalei cu materiale refractare pe bază de alumină, dolomită, magnezită, activitatea oxigenului în oțelul lichid este foarte scăzută ceea ce permite o bună desulfurare.

## 3. Modul de lucru

După elaborarea unei șarje de 50 kg oțel carbon (OT500) în cuptorul electric cu inducție cu căptușeală bazică, se evacuează aliajul lichid într-o oală cu căptușeală bazică. În oală se va forma, după îndepărtarea zgurei de la elaborare, o nouă zgură cu o bună fluiditate și cu un conținut de max 1,5% FeO.

Cantitatea de pulbere de silicocalciu insuflată va fi de 4 g/kg oțel. Lancea de imersie se introduce în oala cu oțel lichid prin unul din orificiile capacului de acoperire a oalei.

Se prelevează următoarele probe:

- o probă înainte de acoperirea cu capac a oalei;
- o probă după terminarea injectiei.

Rezultatele obținute se analizează comparativ cu cele obținute prin adăugarea silicocalciului sub formă de bucați în oțel la evacuarea acestuia în oală. Cantitatea de silicocalciu

introdusă prin această metodă în oțelul lichid va fi de 4 g/kg oțel. Probele se vor preleva înainte de introducerea silicocalciului și după.

#### 4. Rezultate experimentale și concluzii

După efectuarea analizelor chimice se vor calcula gradele de desulfurare obținute în cazul injectării agentului desulfurant și se vor compara cu cele obținute prin introducerea agentului desulfurant la evacuarea oțelului în oală.



LUCRAREA nr. 5.5.

INFLUENTA CONDITIILOR DE TURNARE ASUPRA REOXIDARII OTELULUI

1. Considerații teoretice

Clarificarea aspectelor termodinamice și cinetice privind formarea și eliminarea incluziunilor din oțeluri necesită acordarea unei atenții deosebite turnării oțelului, legăturii acesteia cu reoxidarea care are loc în timpul turnării și efectelor ei asupra calității. Reoxidarea oțelului la turnarea în aer duce la o creștere cu peste 60% a cantității de oxigen și incluziuni în oțel.

Teoria reoxidării oțelului ia în considerare faptul că în timpul turnării, aerul este antrenat de către jetul de turnare în baia metalică. De asemenea are loc un transfer de oxigen din atmosferă în jetul de oțel ca urmare a contactului în timpul curgerii. Oxigenul antrenat determină oxidarea elementelor de aliere și oxizii formați sînt întîlniți în piesa turnată. Ca urmare a creșterii vîscozității oțelului în curs de solidificare din piesa turnată, particulele de oxizi formate nu mai pot să se ridice la suprafață și rămîn în zona în curs de solidificare. Acești oxizi îi regăsim în produsul final sub formă de incluziuni nemetalice.

În general se acceptă că reoxidarea oțelului poate decurge în aer pe trei căi diferite, și anume:

- antrenarea fizică a aerului atmosferic de către jetul de turnare și reacțiile corespunzătoare într-o emulsie bule-metal;
- oxidarea directă a metalului în timpul turnării;
- antrenarea mecanică a zgurei și a spumei în baia metalică.

În studiul mecanismului formării incluziunilor care rezultă ca urmare a reoxidării oțelului la turnarea în aer este bine să se precizeze că există o mărime critică de incluziuni care depinde de tipul și calitatea oțelului. Incluziunile mai mari decît această mărime sînt foarte periculoase pentru oțel, indiferent de compoziția și proprietățile lor și ele pot fi nu-

mite macroincluziuni. Incluziunile mai mici decât mărimea critică sînt numite microincluziuni și ele pot fi admise în oțel, ne provocînd defecte.

Deși în calculul și aprecierea mărimii incluziunilor sînt încă multe probleme nerezolvate, în literatura de specialitate pe baza posibilităților practice din laborator, incluziunile mai mari de  $10 \mu\text{m}$  sînt numite macroincluziuni.

În vederea prevenirii reoxidării au fost propuse mai multe metode:

- turnare în atmosfera de gaze protectoare;
- turnarea în vid.

În figura 5.5.4 se prezintă influența reoxidării oțelului în timpul turnării la formarea macroincluziunilor în cazul turnării fără protecție și cu protecție.

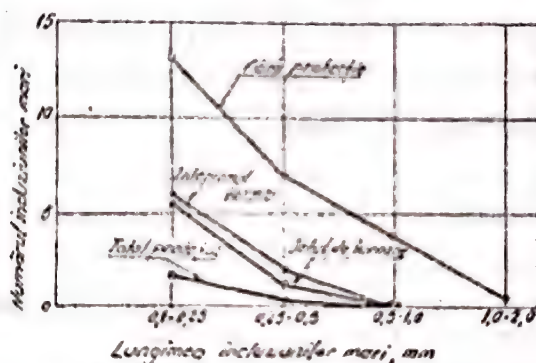


Fig. 5.5.4. Comparatii între tendințele de apariție a microincluziunilor, funcție de gradul de protecție a jetului de turnare împotriva reoxidării cu aer

Se poate afirma că toate îmbunătățirile făcute în vederea creșterii purității oțelului, ex: tratarea prin injecție în stare lichidă, nu au efectul scontat în condițiile în care oțelul este turnat în aer.

Analiza incluziunilor din oțelul turnat arată că într-o probă dată există un spectru de bază al mărimilor de incluziuni. Acesta variază de la un diametru mai mic de  $1 \mu\text{m}$  până la un diametru de  $400-1000 \mu\text{m}$ .

Considerații privind curgerea oțelului. La modelarea procesului de curgere, turnare, a oțelului trebuie avute în vedere următoarele condiții de similitudine:



- similitudine termică - temperatura în două puncte diferite este identică;
- similitudine cinematică - două fluide sînt similare dacă liniile de curent sînt similare din punct de vedere geometric;
- similitudine dinamică - două sisteme sînt similare din punct de vedere dinamic dacă expresia adimensională a fiecărei variabile fizice are aceeași valoare în puncte corespondente.

După cum se arată în literatura de specialitate, în studiile de modelare a condițiilor de curgere utilizînd apa se poate neglija criteriul de similitudine termică, în timp ce criteriul de similitudine cinematică se poate asigura avînd un raport liniar constant între model și instalațiile industriale. Criteriul similitudinii dinamice trebuie avut în vedere în mod deosebit și pentru utilizarea sa este necesar să se calculeze în prealabil următoarele relații:

$$\text{numărul Froude} = \frac{v^2}{gL} ;$$

$$\text{numărul Reynolds} = \frac{vL}{\nu} ;$$

$$\text{numărul Weber} = \frac{v^2 L}{\sigma} .$$

Modelarea jetului de turnare reprezintă o problemă foarte complexă deoarece include trei procese diferite și anume:

- curgerea jetului;
- penetrarea jetului în baia metalică;
- propagarea jetului în baia metalică.

Deoarece la curgerea jetului de turnare factorul predominant este gravitația, criteriul care va governa procesul de curgere va fi numărul lui Froude.

Penetrarea jetului în baia metalică presupune învingerea barierelor de tensiune superficială și în acest caz criteriul predominant va fi numărul lui Weber.

Propagarea jetului în baia metalică depinde de vîscozitatea băii și în această situație criteriul predominant va fi numărul lui Reynolds.

Forma jetului de turnare joacă un rol foarte important în procesul de reoxidare, dacă se are în vedere influența gradului de turbulență din oala de turnare asupra sa. Factorul cel mai important este tensiunea superficială și în acest caz trebuie avut în vedere numărul lui Weber.

La modelarea oalei de turnare factorul cel mai important care influențează curgerea este turbulența băii metalice. Gradul de turbulență depinde de vâscozitatea dinamică și cinematică și ca urmare de o deosebită importanță este numărul lui Reynolds.

De asemenea trebuie avut în vedere efectul de barbotare a băii metalice ca urmare a efectului de pătrundere a jetului de turnare în baie și a contactului ce se stabilește între atmosferă și suprafața băii.

## 2. Instalația experimentală

Studiul procesului de modelare a condițiilor de reoxidare a oțelului la turnare se face pe instalația experimentală din figura 5.5.2.

Instalația este executată de plexiglas și are în componența sa:

- oală de turnare de forma unui trunchi de con;
- piesa pentru turnare de formă cilindrică;
- orificii pentru evacuarea lichidului din oală, de diametre diferite;
- tub de plexiglas pentru modelarea turnării protejate;
- sistem de iluminare a instalației.

Pe peretele cilindrului este amplasată o scală gradată în centimetri pentru a măsura nivelul lichidului.

## 3. Modul de lucru

Raportul în care se găsesc proprietățile fizice ale apei și oțelului permite utilizarea apei în vederea obținerii de date calitative privind condițiile de curgere ale oțelului. Alimentarea cu apă a oalei de turnare se face cu un furtun de la rețeaua curentă. Prin ridicarea și coborîrea după lui se realizează deschiderea sau închiderea orificiului de evacuare.



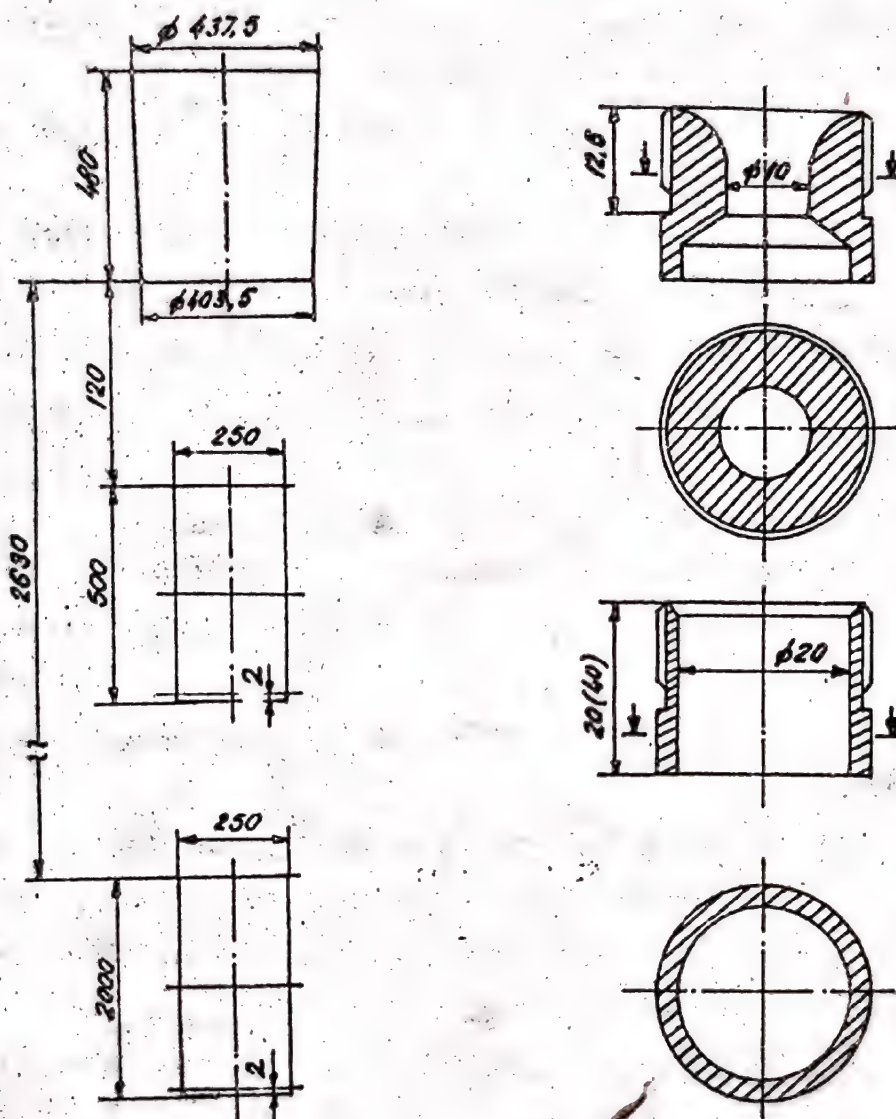


Fig.5.5.2. Instalație experimentală pentru studiul procesului de reoxidare

În cursul experimentărilor se va urmări tendința de antrenare a aerului în baia lichidă în funcție de forma jetului, folosind diametre diferite ale orificiului de scurgere, grade de turbulență diferite în calea de turnare și variind înălțimea de turnare. Pentru a măsura adâncimea de penetrare a jetului în baia lichidă se va utiliza scala gradată de pe peretele cilindrului.

Se va urmări influența formei jetului de turnare asupra cantității de zgură antrenată în baia lichidă. Pentru simularea procesului de antrenare a zgurei se va folosi ulei mineral.

În vederea diminuării efectelor nedorite ale reoxidării oțelului la turnare, pentru turnarea oțelului, apei, se va folosi tubul de plexiglas. Prin turnarea jetului de diferite forme prin acest tub se va urmări tendința de antrenare a aerului și a zgurei în baia lichidă.

#### 4. Concluzii

Se vor trage următoarele concluzii:

- variația formei jetului funcție de condițiile de turnare;
- influența formei jetului asupra tendinței de antrenare a aerului în baia metalică;
- influența formei jetului asupra tendinței de antrenare a zgurei în baia metalică;
- avantajele turnării cu protecție.



INFLUENTA CONTINUTULUI DE CARBON SI A TEMPERATURII  
DE TURNARE ASUPRA FLUIDITATII OTELURILOR TURNATE  
IN PIESE

1. Considerații teoretice

Prin noțiunea de fluiditate se înțelege capacitatea de curgere a oțelului lichid și de umplere corectă a cavității formei cu redarea exactă a configurației exterioare și interioare a piesei turnate. O fluiditate ridicată a oțelului asigură îndepărtarea gazelor și a incluziunilor nemetalice în timpul curgerii și favorizează solidificarea oțelului cu o retasură concentrată, deci obținerea unei structuri compacte fără pori sau microretasuri.

Fluiditatea oțelurilor este o proprietate tehnologică și deci este influențată de o serie de factori care pot fi grupați astfel :

a) proprietățile intrinsece ale oțelului (proprietățile fizico-chimice) cum sînt :

- intervalul de solidificare (dat de compoziția chimică C, Si, Mn, S, P și elementele de aliere dacă oțelul este aliat);
- tensiunea superficială;
- vîscozitatea;
- conductivitatea termică;
- căldura specifică;
- căldura latentă de solidificare;
- cantitatea de impurități (conținutul de gaze și incluziuni).

b) natura formei (formă crudă, formă uscată, formă metalică), caracterizată de proprietățile termofizice (coeficientul de acumulare a căldurii, coeficientul de difuzivitate termică);

c) condițiile de turnare - caracterizate de temperatura de turnare, viteza de turnare, distanța de la locul de alimentare și presiunea de turnare;

d) geometria piesei caracterizată de : grosimea echivalentă de perete și de unghiul de îmbinare a pereților.

Factorii enumerați mai sus influențează într-o mare măsură fluiditatea și de aceea aprecierea corectă a influenței unui factor asupra fluidității oțelului se poate face numai în condițiile în care ceilalți factori sunt menținuți constanți.

Cei mai importanți factori sunt cei legați de compoziția chimică și de condițiile de turnare. Oțelul are capacitate de curgere atâta timp cât se găsește în stare lichidă precum și o perioadă când el se găsește în curs de solidificare. Temperatura la care încetează curgerea se găsește în intervalul de solidificare, când s-a atins o cantitate de cca 20% faza solidă și este corespunzătoare fluidității nule (zero). În raport de fluiditatea nulă (zero) și temperatura de turnare, se întâlnesc trei tipuri de fluidități: fluiditatea reală, fluiditatea practică și fluiditatea teoretică.

Fluiditatea reală se determină la un grad de supraîncălzire constant deasupra fluidității nule ceea ce corespunde la diferite valori ale temperaturii de turnare.

Fluiditatea practică se determină la un grad de supraîncălzire variabil deasupra fluidității nule ceea ce corespunde la o valoare constantă a temperaturii de turnare.

Fluiditatea teoretică se determină la un grad de supraîncălzire variabil deasupra fluidității nule ceea ce corespunde la o valoare variabilă a temperaturii de turnare.

În figura 5.64, se prezintă influența carbonului și a temperaturii de turnare asupra fluidității reale și practice a oțelurilor.

Rezultă că în cazul oțelurilor creșterea conținutului de carbon influențează fluiditatea reală care se micșorează, iar fluiditatea practică se mărește. Temperatura de turnare mărește atât fluiditatea reală cât și fluiditatea practică.

## 2. Metode de determinare a fluidității

Determinarea fluidității oțelului se face cu ajutorul probelor tehnologice dintre care cele mai folosite sunt cele cu secțiune constantă: proba spirală sau cu profil complicat (proba U).

Valoarea fluidității se determină prin măsurarea lungimii probei solidificate.





a) Proba spirală (fig. 5.6.2.) este cea mai răspândită. Fluiditatea se măsoară în mm sau cm de probă spirală. Spirala are lungimea de 1500 mm și secțiunea trapezoidală  $70 \text{ mm}^2$ . Pentru a se ușura citirea lungimii probei turnate, pe modelul spiralei sînt prevăzute 30 de proeminente la distanța de 50 mm una de alta.

b) Proba în formă de U (Nehendzi-Samarin) este prezentată în figura 5.6.3.

Proba în formă de U se toarnă într-o formă metalică și face parte din grupa probelor cu profil complicat. Proba are o porțiune inițială descendentă verticală cu diametrul de 9 mm, iar porțiunea ascendentă verticală cu diametrul de 6 mm. Pîlnia de turnare se execută din fontă sau din amestec de miez, care asigură condiții mai bune de lucru. Temperatura formei metalice trebuie să fie aceeași la fiecare turnare.

### 3. Modul de lucru

Pentru determinarea fluidității oțelului se folosește proba spirală și respectiv proba U.

Proba spirală se realizează cu ajutorul plăcii de model (pe care se găsește spirala) în amestec de formare crud, la care se realizează o uscare superficială cu flacără.

La turnare trebuie să se respecte următoarele condiții:

- să se asigure reținerea zgurei din oala de turnare;
- turnarea să se realizeze de la aceeași înălțime;
- etanșeitarea formelor să fie perfectă;
- realizarea îngreunării formelor.

După solidificarea oțelului se dezbate forma, se răcește proba în apă și se măsoară lungimea spiralei.

Proba U este realizată în formă metalică care înainte de asamblare se preîncălzește la  $150^{\circ}\text{C}$ . Măsurarea temperaturii de preîncălzire a formei metalice se face cu ajutorul termocuplului de contact.

La forma metalică se montează pîlnia de turnare care se realizează din amestec de miez. Se toarnă oțelul, iar după solidificare și răcirea probei se măsoară lungimea parcursă pe porțiunea ascendentă cu diametrul de 6 mm.

Se cercetează influența conținutului de carbon și a temperaturii de turnare asupra fluidității oțelurilor carbon măsurată pe proba spirală și proba U. Se toarnă cîte trei probe de fie-



care tip la trei conținuturi diferite de carbon și două temperaturi de turnare.

#### 4. Rezultate experimentale

Pentru înregistrarea sistematică a rezultatelor se recomandă următorul tabel:

Tabelul 5.6.1.

Valoarea fluidității, în mm probă

Condiții Proba	C = 0,25%		C = 0,60%		C = 0,80%	
	$T_t = 1542^\circ\text{C}$		$T_t = 1582^\circ\text{C}$		$T_t = 1515^\circ\text{C}$	
Spirală	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$
U	$f'_1$	$f'_2$	$f'_3$	$f'_4$	$f'_5$	$f'_6$

Pentru oțelurile de mai sus se consideră următoarele temperaturi lichide ( $C = 0,25\%$ ,  $T_L = 1512^\circ\text{C}$ ;  $C = 0,60\%$ ,  $T_L = 1485^\circ\text{C}$ ;  $C = 0,80\%$ ,  $T_L = 1460^\circ\text{C}$ ).

Temperatura de turnare se ia corespunzător la același grad de supraîncălzire pentru cele trei oțeluri, adică  $\Delta T_{Si} = 30^\circ\text{C}$  și respectiv  $\Delta T_{Si} = 70^\circ\text{C}$ , obținându-se temperaturile de turnare din tabelul 5.6.1.

#### 5. Interpretarea datelor și concluzii

- Se va urmări influența temperaturii de turnare asupra fluidității, când conținutul de carbon este constant. Se va trasa o diagramă:  $f = f(T_t)$  pentru  $C = \text{const.}$ , în cazul celor două probe (spirală respectiv proba U).

- Se va urmări influența conținutului de carbon asupra fluidității în cazul când gradul de supraîncălzire este constant. Se va trasa diagrama:  $f = f(\% C)$  pentru  $\Delta T_{Si} = \text{ct.}$  în cazul celor două probe.

- Se vor trage concluzii referitoare la influența globală a celor doi factori analizați (conținut de carbon și temperatură de turnare) asupra fluidității oțelurilor.

LUCRAREA NR 5.7.

INFLUENTA CONTINUTULUI DE CARBON SI A TEMPERATURII  
DE TURNARE ASUPRA RETASURII OTELURILOR TURNATE IN PIESE

1. Considerații teoretice

Retasura reprezintă o cavitate (gol) în piesă turnată, care se formează ca rezultat al contracției în volum a oțelului în stare lichidă și la solidificare. Retasura se localizează în acele zone ale peretelui piesei în care oțelul lichid se solidifică ultimul și izolat.

Dimensiunile, forma și poziția retasurii pot fi determinate teoretic prin trasarea izotermelor de solidificare în pereții pieselor turnate.

Din punct de vedere al dimensiunilor, formei și poziției, retasurile se clasifică astfel :

Retasură	1. Macroretasură (retasură concentrată)	1.1. deschisă	-superioară -laterală
		1.2. închisă	-principală -noduri termice -secundară axiale
	2. Microretasură (retasură dispersată)	2.1. zonală	- în axa termică - în noduri termice - în zona alimentatorului - interdendritică
		2.2. dispersată	

Macroretasura constă din una sau mai multe cavități concentrate în zone vizibil delimitate, ca rezultat al solidificării unor volume mari de oțel lichid.

Microretasurile reprezintă totalitatea cavităților mici vizibile cu ochiul liber, care se formează ca rezultat al contracției la solidificarea unor volume mici de oțel izolate de dendritele în creștere în timpul procesului de solidificare.

Volumul, forma și poziția macroretasurii și microretasurii în pereții pieselor turnate sînt influențate de următorii factori tehnologici:



- a) compoziția fizico-chimică a oțelului, caracterizată de:
- intervalul de solidificare (compoziția chimică C, Si, Mn, S, P și conținutul elementelor de aliere);
  - proprietățile termofizice (conductivitate termică, căldură specifică);
  - conținutul de gaze (hidrogen, azot);
- b) natura formei (formă crudă, formă uscată, formă metalică) caracterizată de :
- proprietățile termofizice (coeficientul de acumulare a căldurii, și coeficientul de difuzivitate termică);
- c) condițiile de turnare, caracterizate de:
- temperatura de turnare;
  - viteza de turnare;
  - locul de alimentare a piesei;
- d) geometria piesei caracterizată de
- grosimea echivalentă de perete;
  - unghiul de îmbinare a pereților;

Din factorii de mai sus enumerați, o importanță deosebită o prezintă influența carbonului și a temperaturii de turnare asupra macroretasurii și microretasurii oțelurilor turnate în piese.

## 2. Metode de determinare a volumului retasurii

Pentru determinarea volumului de retasură se pot utiliza două metode:

- metoda directă;
- metoda indirectă.

Metoda directă se bazează pe măsurarea volumului retasurii concentrate (macroretasurii) prin umplerea acestuia cu apă.

Metoda indirectă se bazează pe compararea densității reale și densității ideale a oțelului din care se toarnă piesa. Această metodă se folosește pentru măsurarea volumului de retasură total (macroretasură și microretasură). Proba cea mai răspândită la metoda indirectă este cea conică, cu diametrul de 150 mm și înălțimea de 120 mm, având baza bombată pentru a se forma retasura în interior.

În acest caz volumul retasurii se obține cu relația:

$$V_{\text{ret}} = \left(1 - \frac{\rho_r}{\rho_1}\right) \cdot V_p \cdot 100 \%$$

în care:  $\rho_r$  este densitatea reală a oțelului, în kg/m<sup>3</sup>;

$\rho_i$  - reprezintă densitatea ideală a oțelului, în  $\text{kg/m}^3$ ;

$V_p$  - reprezintă volumul piesei (probei conice), în  $\text{m}^3$ ;

Determinarea densității reale ( $\rho_r$ ) se face cîntărind proba conică.

Pentru determinarea volumului de retasură concentrată se utilizează proba conică reprezentată în figura 5.7.1.

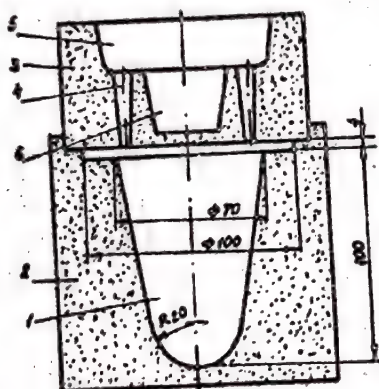


Fig. 5.7.1. Proba conică pentru determinarea volumului de retasură concentrată:

- 1-proba conică; 2-formă;
- 3-capac; 4-alimentator;
- 5-bazin de turnare;
- 6-colector de metal

Datorită formei conice a probei se asigură o solidificare dirijată de jos în sus și prin intermediul colectorului de metal 6 se menține o temperatură ridicată la partea superioară a conului în vederea obținerii unei retasuri concentrate deschise.

### 3. Modul de lucru

Pentru determinarea retasurii totale (macroretasură și microretasură) se utilizează o probă conică cu baza bombată iar pentru determinarea retasurii concentrate se utilizează proba conică din figura 5.7.1.

Proba conică se realizează în amestec de formare cu ajutorul unui model placă pe care se găsește montat conul. Capacul se realizează separat și se montează după o uscare în prealabil.

Volumul de retasură concentrată (macroretasură) se determină prin fixarea probei conice într-un dispozitiv pentru menținerea în poziție orizontală, după care se determină cu apă dintr-un cilindru gradat, volumul golului de retasură concentrată.

Volumul de retasură concentrată se calculează cu relația:

$$V_{ret} = \frac{V_{apă}}{V_{con}} \cdot 100 \quad \%$$

Se va urmări influența conținutului de carbon și a temperaturii de turnare asupra volumului de retasură.



#### 4. Rezultate experimentale

Rezultatele experimentale vor fi înregistrate într-un tabel de forma :

Tabelul 5.7.4.

Volumul de retasură, în %

Condiții	C = 0,25%		C = 0,6 %		C = 0,80%	
Metoda	$T_t = 1542^\circ\text{C}$	$T_t = 1582^\circ\text{C}$	$T_t = 1515^\circ\text{C}$	$T_t = 1555^\circ\text{C}$	$T_t = 1490^\circ\text{C}$	$T_t = 1530^\circ\text{C}$
directă	$V_{MR1}$	$V_{MR2}$	$V_{MR3}$	$V_{MR4}$	$V_{MR5}$	$V_{MR6}$
indirectă	$V_{r.t1}$	$V_{r.t2}$	$V_{r.t3}$	$V_{r.t4}$	$V_{r.t5}$	$V_{r.t6}$
$V_{MR} - V_{r.t} =$ $= V_{m.r}$	$V_{m.r1}$	$V_{m.r2}$	$V_{m.r3}$	$V_{m.r4}$	$V_{m.r5}$	$V_{m.r6}$

În tabelul 5.7.4 notațiile au următoarea semnificație:

- $V_{r.t}$  - volumul total de retasură
- $V_{MR}$  - volumul de retasură concentrată (macroretasură)
- $V_{m.r}$  - volumul de microretasură

#### 5. Interpretarea datelor și concluzii

Se va urmări influența temperaturii de turnare asupra volumului de retasură total, volumului de macroretasură și volumului de microretasură în cazul când conținutul de carbon este constant.

Se va urmări influența conținutului de carbon asupra volumului de retasură total, volumului de macroretasură și volumului de microretasură, în cazul când temperatura de turnare (respectiv gradul de supraîncălzire peste lichidus) este constantă.

# INFLUENTA CONTINUTULUI DE CARBON ASUPRA CONTRACTIEI IN STARE SOLIDA A OTELURILOR

## 1. Considerații teoretice

Contractia în stare solidă se consideră că este liniară și începe de la temperatura de solidificare (sau din apropierea ei între lichidus și solidus) și se termină la temperatura mediului ambiant.

Contractia în stare solidă reprezintă micșorarea dimensiunilor liniare ale pieselor turnate și din această cauză dimensiunile modelului folosit la executarea formei trebuie să fie mai mari decât ale piesei turnate corespunzător cu valoarea contractiei.

Contractia în stare solidă are influență nu numai asupra dimensiunilor corecte ale piesei turnate, dar și asupra formării tensiunilor interne și deci asupra tendinței de formare a crăpăturilor la cald și la rece.

Teoretic contractia în stare solidă ( $\epsilon_s$ ) se exprimă prin relația:

$$\epsilon_s = \alpha_s (T_s - T_0) ,$$

în care:  $\alpha_s$  este coeficientul de contractie în stare solidă;  
 $T_s$  - temperatura de solidificare;  
 $T_0$  - temperatura mediului ambiant.

În cazul oțelurilor, contractia în stare solidă se compune din:

$$\epsilon_s = \epsilon_{ap} - \epsilon_{p \rightarrow a} + \epsilon_{pp} ,$$

în care:

$\epsilon_{ap}$  - este contractia anteperlitică, care are loc între temperatura de solidificare și temperatura de transformare perlitică;

$\epsilon_{p \rightarrow a}$  - dilatare perlitică, are loc la temperatura de transformare perlitică

$\epsilon_{pp}$  - contractia postperlitică, care are loc între



temperatura de transformare perlitică și temperatura mediului ambiant.

În tabelul 5.8.4 se prezintă influența carbonului asupra contracției în stare solidă și asupra termenilor componenți ai contracției.

Tabelul 5.8.4.

Valorile contracției în stare solidă în funcție de carbon

% C	$\epsilon_{ap}, \%$	$\epsilon_{perl}, \%$	$\epsilon_{pp}, \%$	$\epsilon_s, \%$
0,08	1,42	0,11	1,16	2,47
0,14	1,52	0,11	1,06	2,46
0,35	1,47	0,11	1,04	2,40
0,45	1,39	0,11	1,07	2,35
0,55	1,25	0,09	1,05	2,31
0,90	1,21	0,09	0,98	2,28

Din tabelul 5.8.4 rezultă că cu creșterea conținutului de carbon contracția în stare solidă scade, micșorându-se în același timp contracția anteperlitică ( $\epsilon_{ap}$ ) și respectiv post-perlitică.

## 2. Metode de determinare a contracției în stare solidă

Determinarea contracției în stare solidă se face prin două metode:

- metoda statică, folosindu-se un model sub formă de bară;
- metoda dinamică. În acest caz se urmărește variația contracției în timp, de la sfârșitul solidificării până la răcirea completă a probei.

## 3. Modul de lucru

Determinarea contracției în stare solidă prin metoda dinamică se face cu ajutorul unui aparat numit Bolgacov care este prezentat în figura 5.8.4.

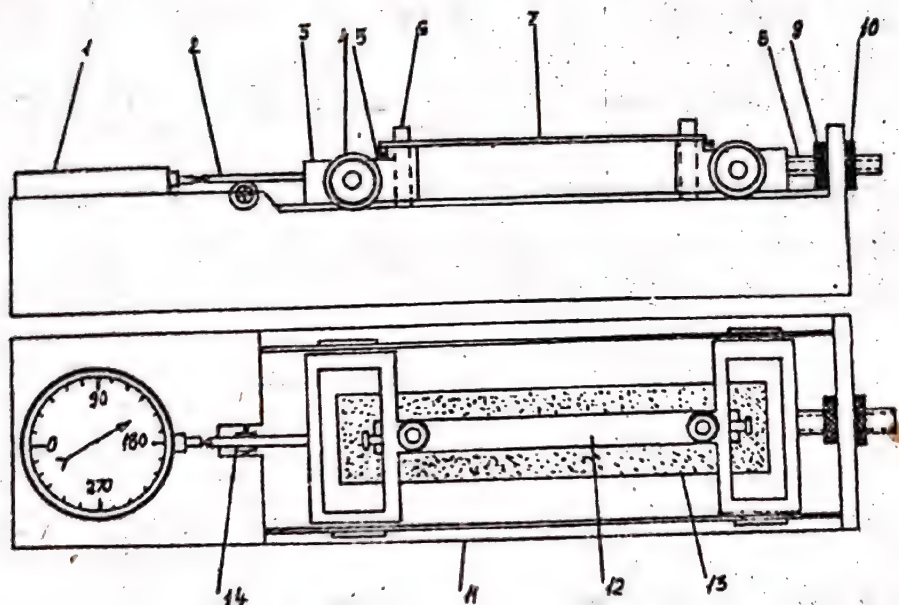


Figura 5.8.1. Schema aparatului pentru determinarea contracției liniare libere în stare solidă

Aparatul se compune dintr-o cutie metalică (11) de care este fixat la un capăt un ceas comparator (1) cu diviziuni 0,01 mm sau 0,1 mm.

În cutia (11) se montează rama de formare (13) în care se găsește proba (12) cu dimensiunile 25 x 25 x 300 mm.

Deasupra ramei metalice se găsesc două cărucioare mobile din care unul (3) vine în contact prin tija (2) cu axul ceasului comparator (1) iar celălalt cărucior este fixat pe peretele cutiei (11) cu ajutorul tijei filetate (8) având două piulițe (9) și (10) de fixare. În fiecare din aceste două cărucioare se așează bolțurile (6) care intră în formă pe o adâncime de 13-15 mm, iar capetele superioare ies afară cu 8-10 mm, față de cărucior.

Distanța dintre centrele bolțurilor este de 200 mm și se fixează cu ajutorul riglei de control (7).

Aparatul se montează pe o masă de laborator pentru a i se asigura o poziție orizontală.



Se toarnă trei probe cu conținuturi diferite de carbon.

Rezultatele experimentale se înregistrează într-un tabel de forma:

[illegible]

Se vor trage concluzii referitoare la influența carbonului asupra contracției în stare solidă a oțelurilor.

LUCRAREA NR. 5.8.

DETERMINAREA TENSIUNILOR DE TURNARE IN PIESELE  
TURNATE DIN OTEL

1. Considerații teoretice

La răcirea pieselor turnate din oțel, ca urmare a procesului de contracție pot apare în pereții piesei deformări. Dacă tendința de deformare este frinată în piesa turnată vor apare tensiuni.

În funcție de durata de existență tensiunile din pereții pieselor sînt de două tipuri:

- tensiuni temporare, determină numai deformări elastice care după răcirea piesei și uniformizarea temperaturilor se anulează complet;

- tensiuni remanente, determină deformări plastice în peretele piesei și care după răcire și uniformizarea temperaturilor nu pot fi îndepărtate. Dacă tensiunile ating valoarea limitei de rupere a mării respective de oțel în piesă vor apare crăpături. Dacă valoarea tensiunilor depășește numai limita de curgere a oțelului, în piesă se vor produce deformări plastice cu modificarea dimensiunilor.

Tensiunile remanente în piesele turnate din oțel se pot suprapune peste tensiunile care apar în timpul prelucrării mecanice sau al funcționării pieselor în exploatare. Prin însumarea acestor tensiuni se obțin valori ridicate care pot determina deformarea pieselor în timpul funcționării acestora (încovoiere, răsucire) sau chiar ruperea acestora.

În acest sens se impune acordarea unei mari atenții posibilităților de înlăturare sau micșorare a tensiunilor remanente în piesele turnate.

În funcție de cauza apariției tensiunilor în peretele piesei turnate, ele se pot clasifica în:

- tensiuni termice care apar ca urmare a contracției neuniforme la un moment dat în diferite părți ale piesei turnate datorită gradientilor de temperatură în secțiunile piesei turnate, pereții acesteia avînd grosimi diferite. Pereții subțiri se răcesc mai repede decît cei groși și trec mai devreme din domeniul plastic în cel elastic;



- tensiuni fazice provocate de faptul că transformările de fază, cu modificări de volum, nu se produc simultan în diversele zonele ale piesei, pereții subțiri trecînd mai repede prin aceste transformări decît pereții groși ca urmare a vitezei diferite de răcire.

- tensiuni de contracție (mecanice) provocate de frînarea mecanică a contracției. Frînarea poate fi provocată de forma în care se toarnă piesa, de miezuri sau de elementele rețelei de turnare.

## 2. Metode pentru măsurarea tensiunilor

Măsurarea rapidă a tensiunilor de turnare în cazul diferitelor mărci de oțel sau temperaturi de turnare se face cu ajutorul unor probe tehnologice speciale.

În figura 5.94 se prezintă una din probele utilizate frecvent și cunoscută sub denumirea de "jugul cu 3 bare".

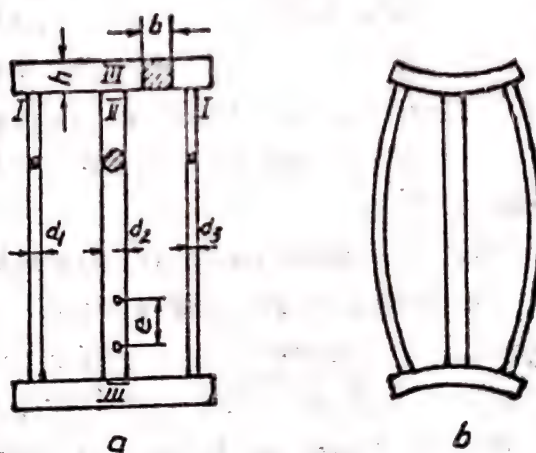


Fig. 5.94. Probă tehnologică pentru aprecierea tensiunilor de turnare (a) și modul de deformare al probei (b)

Proba constă din trei bare de grosimi diferite, solidarizate rigid între ele la capete, prin două traverse. Barele exterioare I, au secțiunea mai mică decît bara centrală II. Ca urmare, în timpul solidificării barele probei se vor răci neuniform și în barele subțiri vor apărea tensiuni de comprimare iar în bara centrală tensiuni de întindere.

Forța care lucrează în bara II are o acțiune de încovoiere asupra traverselor de la capetele barelor și asupra barelor

exterioare subțiri, astfel că după răcire proba se vadeforma conform figurii 59.4, unde deformarea este prezentată exagerat.

După turnare și completa răcire a probei pe bara groasă se marchează două puncte la o distanță "a" și se secționează bara între aceste repere.

Prin secționare bara groasă se eliberează de tensiunile de întindere și ea se comprimă, iar barele subțiri se eliberează de tensiunile de comprimare și se întind.

În acest caz distanța "a" dintre cele două repere se modifică și diferența reprezintă suma algebrică a deformărilor barelor cilindrice I și II și ale capetelor III.

Cunoscând mărimea  $\Delta l$  pe baza teoremei lui Castigliano se pot determina tensiunile din fiecare parte a cadrului cu trei bare:

$$\sigma_1 = - \left[ \frac{F}{A_1} + \frac{Fl_3 - M_0}{W_1} \right]; \quad \sigma_2 = \frac{2F}{A_2}; \quad \sigma_3 = \frac{M_0}{W_3};$$

unde  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  - tensiunile din fiecare parte a cadrului, în  $\text{daN/mm}^2$ ;

$2l_3$  - lungimea barei III, în mm;

F - forța care acționează în bara II;

$A_1, A_2, A_3$  - secțiunile din fiecare parte a cadrului, în  $\text{mm}^2$ ;

$W_1, W_3$  - modulele de rezistență, în  $\text{mm}^3$ ;

$M_0$  - momentul de încovoiere a barei I, în  $\text{daN mm}$ ;

Determinarea necunoscutelelor F și  $M_0$  se face din sistemul de ecuații care rezultă pe baza deformației totale și a anulării unghiului de rotire a părții III în raport cu bara capătul II:

$$\frac{F}{E} \left( \frac{l_1}{A_1} + \frac{l_1 l_3^2}{I_1} + \frac{l_3^3}{3I_3} + \frac{2l_2}{A_2} \right) - \frac{M_0}{E} \left( \frac{l_1 l_3}{I_1} + \frac{l_3^2}{2I_3} \right) = \Delta l$$

$$\left( \frac{Fl_1 l_3}{E I_1} - \frac{M_0 l_1}{E I_1} \right) + \left( \frac{F l_3^2}{2I_3} + \frac{M_0 l_3}{I_3} \right) = 0..$$

unde  $I_1, I_2, I_3$  - momentele de inerție ale fiecărei părți a cadrului, în  $\text{mm}^4$ ;

$2l_1, 2l_2$  - lungimile barelor egale I și II, în mm;

E - modulul de elasticitate al oțelului, în  $\text{daN/mm}^2$



$$I_1 = \frac{\pi d_1^4}{32} ; \quad I_3 = \frac{bh^3}{12} ;$$

$$W_1 = \frac{\pi d_1^3}{16} ; \quad W_2 = \frac{bh^2}{6} ;$$

unde:  $d_1$  - diametrul barei I, în mm;  
 $b$  - lățimea secțiunii barei III, în mm;  
 $h$  - înălțimea barei III în mm;

În acest fel cunoscându-se grosimea de perete a viitoareii piese turnate și momentele de rezistență specifice mării de oțel utilizat se poate aprecia valoarea tensiunilor de turnare care vor apare și deci modul de deformare al piesei.

În continuare se prezintă două probe speciale utilizând pentru determinarea tensiunilor la turnarea pieselor din oțel.

În figura 5.9.2 se prezintă proba celor cinci bare:

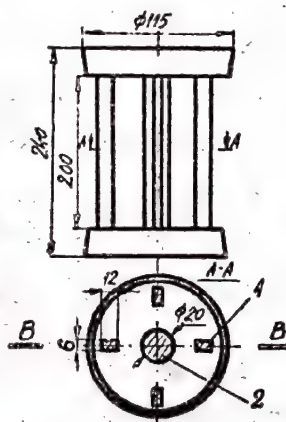


Fig. 5.9.2. Proba cu cinci bare

La această probă raportul dintre grosimile echivalente de perete este

de , 
$$\frac{R_1}{R_2} = 2,5 ,$$

unde :  $R_1$  este grosimea echivalentă a părții subțiri;

$R_2$  - grosimea echivalentă a părții groase;

Pentru determinarea tensiunilor în bara groasă, bara 2 se poate utiliza relația:

$$\sigma_2 = \frac{\alpha E R_1 \cdot 620}{K K_1 (R_1 + R_2)} \left[ 1 - \left( \frac{620}{t_1} \right)^{R_2/R_1 - 1} \right] \cdot [daN/mm^2]$$

Pentru determinarea tensiunilor în bara subțire, bara 1

se utilizează relația

$$\sigma_1 = - \frac{\alpha E R_2 \cdot 620}{K K_1 (R_1 + R_2)} \left[ 1 - \left( \frac{620}{t_l} \right)^{R_2/R_1 - 1} \right] \cdot [\text{daN/mm}^2]$$

unde

- $\alpha$  - coeficientul de dilatare termică a oțelului;
- E - modulul de elasticitate al oțelului, în daN/mm<sup>2</sup>;
- K - coeficient de transmitere a căldurii, K = 1,0...2,0;
- K<sub>1</sub> - coeficient de deformare plastică, K<sub>1</sub> = 1;2;5;
- R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> - grosimile echivalente de perete;
- t<sub>l</sub> - temperatura lichidus;

În practică după secționarea barelor 1 și 2 se pot folosi și următoarele relații simplificate:

- pentru bara groasă cu diametrul Ø 20 mm

$$\sigma_2 = \frac{\Delta l}{l} E \frac{\sum f_1}{\sum f_1 + f_2} [\text{daN/mm}^2]$$

- pentru bara subțire cu dimensiunile 6x12 mm,

$$\sigma_1 = - \frac{\Delta l}{l} E \frac{f_2}{\sum f_1 + f_2} [\text{daN/mm}^2]$$

unde  $\Delta l$  - diferența dintre distanța între două puncte după secționare și distanța măsurată înainte de secționare, în mm. Această distanță se ia în mod simetric față de centru și este egală cu 100 mm;

- E - modulul de elasticitate al oțelului, în daN/mm<sup>2</sup>;
- $\sum f_1$  - suma secțiunilor barelor subțiri, 6x12 mm;
- f<sub>2</sub> - secțiunea barei groase, Ø 20 mm;
- l - lungimea barei, l = 200 mm;

Secțiunea barelor se face după direcția B-B.

O altă probă folosită pentru determinarea tensiunilor și în special a celor fazice, la turnarea oțelului este cea reprezentată în figura 5.9.3.

Cu această probă se poate studia influența elementelor de aliere asupra tensiunilor de turnare, la turnarea pieselor din oțel.



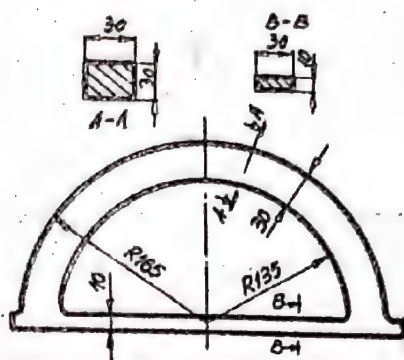


Fig. 5.93. Probă pentru determinarea tensiunilor fazice

### 3. Modul de lucru

Determinările se vor face cu ajutorul probei tehnologice a celor trei bare.

Se vor turna trei probe cu diametrul barei II, 20 mm, respectiv 25 mm și 30 mm.

Bara I în toate cele trei determinări are dimensiunea  $\varnothing$  10 mm.

### 4. Rezultate experimentale

Rezultatele obținute se vor trece în următorul tabel :

Dimensiuni probă [mm]	$\frac{d_2}{d_1}$	e [mm]	F [daN]	$M_0$ [daN mm]	$\sigma_1$ [daN/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_2$ [daN/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_3$ [daN/mm <sup>2</sup> ]

### 5. Interpretarea rezultatelor și concluzii

Se vor trage concluzii referitoare la valorile tensiunilor interne în funcție de dimensiunile probelor.

Lucrarea nr. 5.40.  
=====

## DETERMINAREA TENDINTEI DE FORMARE A CRĂPĂTURILOR LA CALD

### 1. Noțiuni generale

Crăpăturile la cald sînt discontinuități care reprezintă rupturi parțiale sau totale în secțiunea pereților piesei turnate, determinate de tensiunile de întindere care au valori egale sau mai mari decît rezistența de rupere la tracțiune a oțelului. Cauza apariției urăpăturilor la cald o constituie frînarea mecanică a contracției liniare libere și valoarea scăzută a proprietăților mecanice a oțelului la temperaturi ridicate (în apropiere de temperatura de sfîrșit de solidificare). Principalele caracteristici a crăpăturilor la cald sînt următoarele:

- se produc numai în timpul solidificării piesei;
- au o ruptură intercristalină;
- sînt largi, de lungime mică, șerpuite, fără tendința de a se propaga în continuare (punctul lor terminal este rotunjit);
- sînt puternic oxidate și colorate în negru, ceea ce indică formarea lor la temperaturi ridicate.

În apropierea temperaturii solidus, modulul de elasticitate scade pînă la valori de 10...15 % din valoarea lui inițială, rezistența la tracțiune are valori foarte scăzute iar limita de curgere are valoarea egală cu zero. De exemplu, la un oțel carbon care la + 20°C are o rezistență la rupere de 50...60 daN/mm<sup>2</sup> și gîtuire relativă a secțiunii transversale de circa 35...45 %, la temperaturi de 1300...1450°C aceste caracteristici se reduc la valori sub 1 daN/mm<sup>2</sup> și respectiv 1 %.

Oțelurile carbon între 0,1...0,35 % au tendința cea mai pronunțată de formare a crăpăturilor la cald, din cauză că în domeniul temperaturilor foarte ridicate, contracția totală este mai mare.

Explicația constă în faptul că peste contracția termică se suprapune și contracția fazică ( $Fe_\delta \rightarrow Fe_\gamma$ ) care se produce cu o contracție de volum.

./.



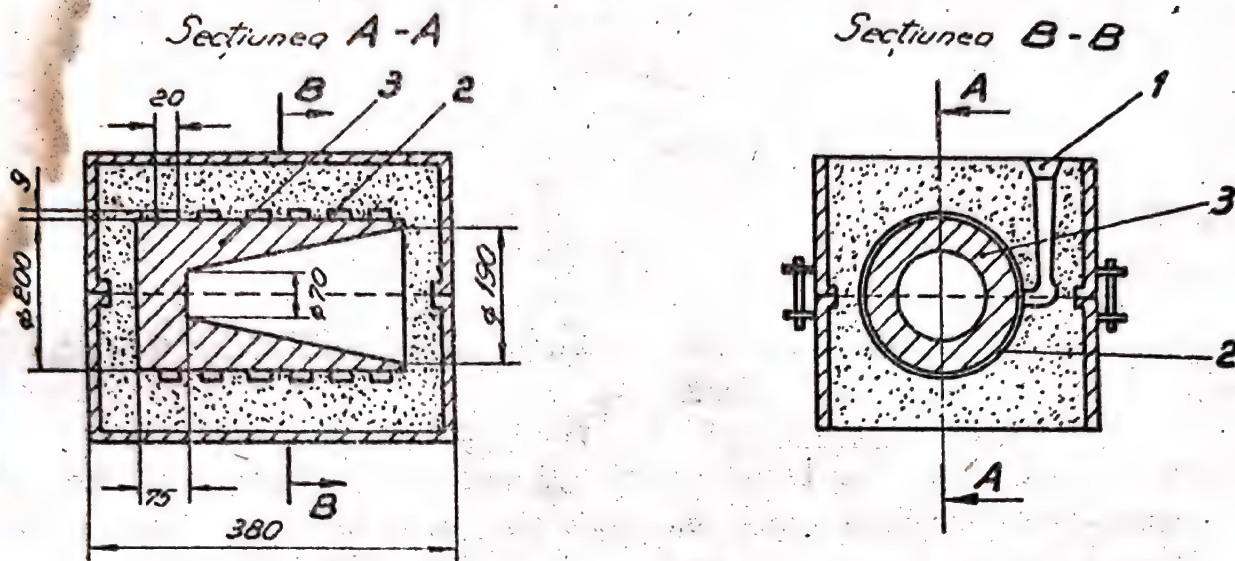


Fig. 5.10.1. Secțiune prin formă pentru turnarea probei folosite la terminarea tendinței de formare a crăpăturilor la cald:  
1-rețea de turnare; 2-proba (inel); 3-miez

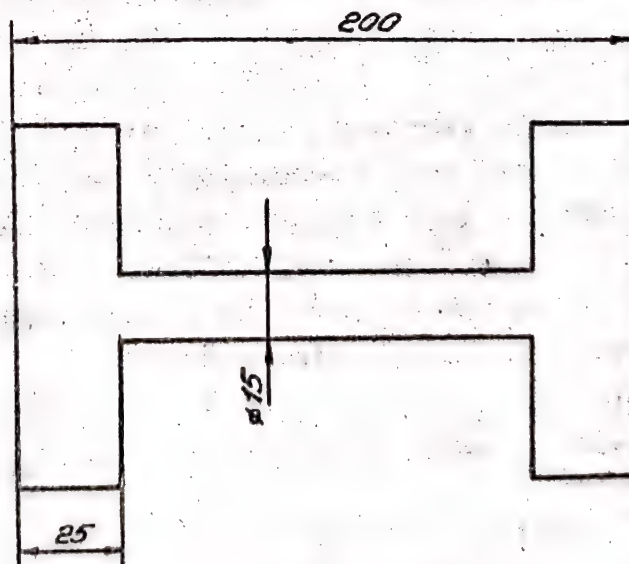


Fig. 5.10.2. Probă tehnologică pentru determinarea tendinței de formare a crăpăturilor la cald

## 2. Metode de determinare a crăpăturilor la cald

Pentru determinarea tendinței de formare a crăpăturilor la cald se folosesc diferite metode:

- metode bazate pe frînarea mecanică (de către formă sau miezuri) a contracției liniare;
- metode bazate pe determinarea proprietăților reologice și a caracteristicilor mecanice în intervalul de solidificare a aliajului.

Proba din figura 5.10.1 se bazează pe frînarea contracției probelor inelare folosind un miez cu compresibilitate variabilă pe lungime.

Se toarnă un număr de 6 inele într-o formă executată din amestec. Miezul se execută din amestec cu silicat de sodiu întărit cu  $\text{CO}_2$ . Rezistența la compresiune a miezului trebuie să fie cuprinsă între 25 - 30 daN/cm<sup>2</sup>.

Tendința de formare a crăpăturilor la cald se apreciază după numărul de inele care prezintă crăpături.

Proba din figura 5.10.2 se bazează pe frînarea contracției probei de către forma de turnare. Forma se realizează din amestec cu diferite grade de îndesare.

Aprecierea tendinței de formare a crăpăturilor la cald se face în funcție de crăpăturile care apar la îmbinarea peretelui cu flanșa.

Se va studia și influența temperaturii de turnare asupra tendinței de formare a crăpăturilor la cald.



## INFLUENTA AGITĂRII MAGNETICE ASUPRA PROCESULUI DE SOLIDIFICARE LA PIESELE TURNATE DIN OTEL

### 1. Considerații teoretice

În timpul solidificării oțelurilor, primele cristale vor crește la interfața aliaj-formă, avînd loc în același timp și o îmbogățire a fazei lichide în elemente segregate.

Deoarece în cazul oțelurilor raportul de repartiție  $k_0 < 1$ , faza lichidă fiind îmbogățită în elemente segregate, are loc o micșorare a subrăcirii la interfața solid-lichid și corpul cristalului crește mult mai repede decît baza sa, forma cristalului fiind granulară.

Influența schematică a subrăcirii la interfața solid-lichid asupra cristalelor crescute pe pereții formei este prezentată în figura 5.44.1.

Creșterea preferențială a cristalului pe peretele formei este influențată de poziția axei cristalului față de acesta, figura 5.44.2.

Datorită fluctuațiilor de temperatură are loc o mișcare de convecție, care în unele cazuri poate conduce la separarea cristalului de peretele formei, mai ales în cazul cristalelor cu bază îngustă, fig 5.44.2.b.

Deoarece densitatea cristalelor primare este mai mare decît a oțelului lichid, aceste cristale vor avea o mișcare descendentă, în prima fază a procesului de solidificare. În continuare, unele din cristale pot avea o mișcare ascendentă, datorită procesului de multiplicare a lor, figura 5.44.3 și curenților de convecție termică, figura 5.44.4.a.

Ca urmare a schimbului de căldură dintre oțelul lichid și formă, are loc formarea unei zone de cristale schicxe fine

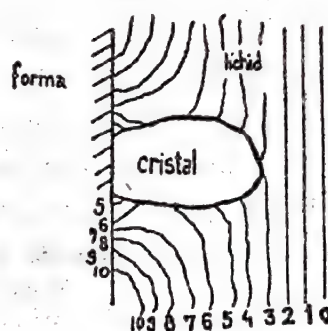


Fig. 5.44.1. Influența subrăcirii la interfața solid-lichid asupra cristalelor crescute pe pereții formei

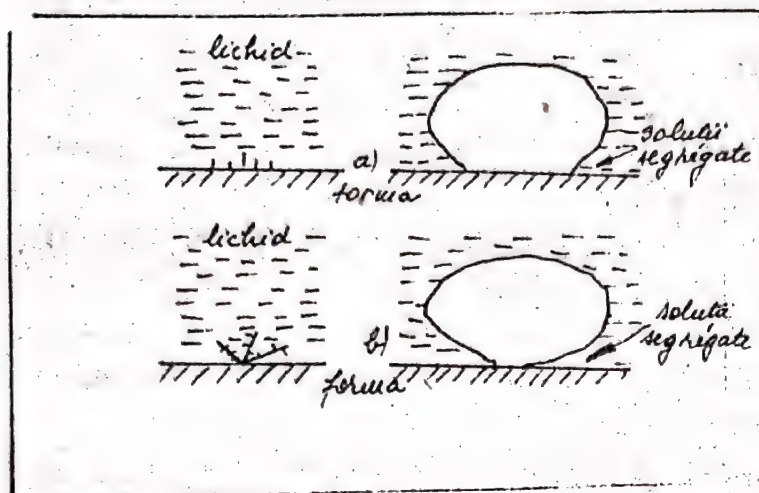


Fig. 5.11.2. Posibilități de creștere a cristalelor:  
a-axele cristalului sînt perpendiculare pe peretele formei;  
b-axele cristalului nu sînt perpendiculare pe peretele formei

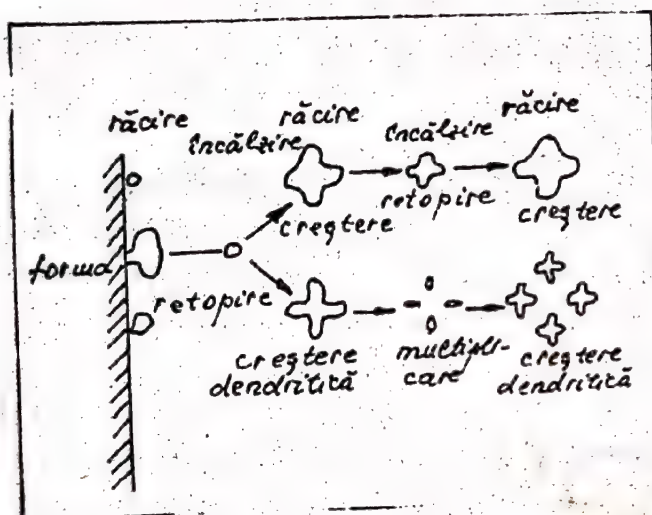


Fig. 5.11.3. Influența schematică a multiplicării și separării cristalelor de la peretele formei

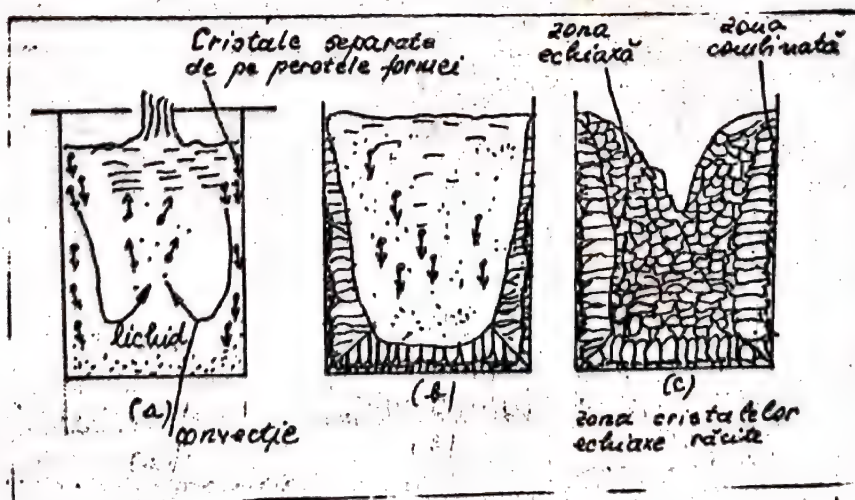


Fig. 5.11.4. Schema solidificării unui lingou turnat din oțel



la peretele forme, zonă pe care are loc creșterea în continuare a unor cristale columnare, figura 5.11.4.b.

Pentru micșorarea zonei cristalelor columnare și formarea unei zone echiaxe centrale cât mai întinse, figura 5.11.4.c, de o deosebită însemnătate este realizarea "mişcării" oțelului în piesele turnate în timpul solidificării.

Solidificarea dinamică a pieselor turnate din oțel se poate realiza prin agitare magnetică, barbotarea topiturii, vibrarea forme, folosirea ultrasunetelor.

Prin agitarea magnetică a oțelului lichid în curs de solidificare se urmărește îmbunătățirea macrostructurii pieselor turnate și scăderea tendinței de segregare a elementelor.

Îmbunătățirea macrostructurii se obține prin transformarea structurii columnare, structură specifică de turnare, într-o structură omogenă echiaxă.

Pentru obținerea unei structuri cu o granulație cât mai fină, oțelul lichid turnat în cavitatea forme, trebuie menținut într-o stare de mișcare continuă, care să se intensifice sau să scadă în zona de margine și invers în zona centrală.

Mișcarea oțelului în zonele externe ale piesei turnate poate conduce la ruperea vîrfurilor dendritelor crescute, sau la topirea superficială a acestora. Fragmentele de dendrite rupte care nu se retopesc în oțelul lichid, măresc numărul germinilor de cristalizare, contribuind la formarea unei structuri mai fine.

Mișcarea oțelului contribuie și la micșorarea tendinței de segregare a elementelor, deoarece suprafața frontului de solidificare se află în contact cu o fază lichidă care are o compoziție omogenă.

Pentru realizarea unui câmp magnetic care să pună în mișcare oțelul lichid este necesară utilizarea unor inductori speciali.

Instalațiile folosite pentru agitarea magnetică a topiturii de oțel pot avea 3, 4 sau 2 poli care realizează un câmp magnetic învîrtitor, figura 5.11.5.

Uzual se folosesc cîmpuri magnetice învîrtitoare realizate

cu ajutorul a doi poli, construcția fiind similară cu statorul unui rotor. Repartiția liniilor cîmpului magnetic în acest caz este prezentată în figura 5.11.6, unde se observă că forțele electromag-

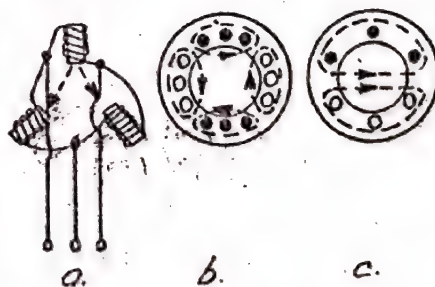


Fig. 5.11.5. Posibilități de realizare a cîmpului magnetic învîrtitor

netice care apar în interiorul oțelului conferă acestuia o mișcare de rotație.

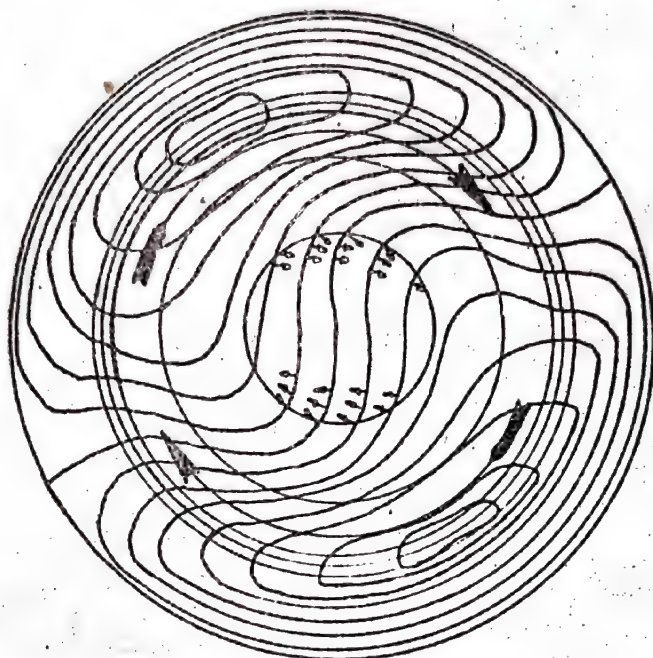


Fig. 5.44.6. Repartiția liniilor câmpului magnetic

Aceste instalații pot fi utilizate pentru agitarea oțelului în cazul turnării acestuia în lingouri sau la turnarea continuă.

Ca urmare a imposibilității introducerii acestor inductori în forme, la turnarea pieselor din oțel pentru agitarea magnetică în cursul solidificării se folosesc motoare liniare trifazate.

## 2. Instalația experimentală

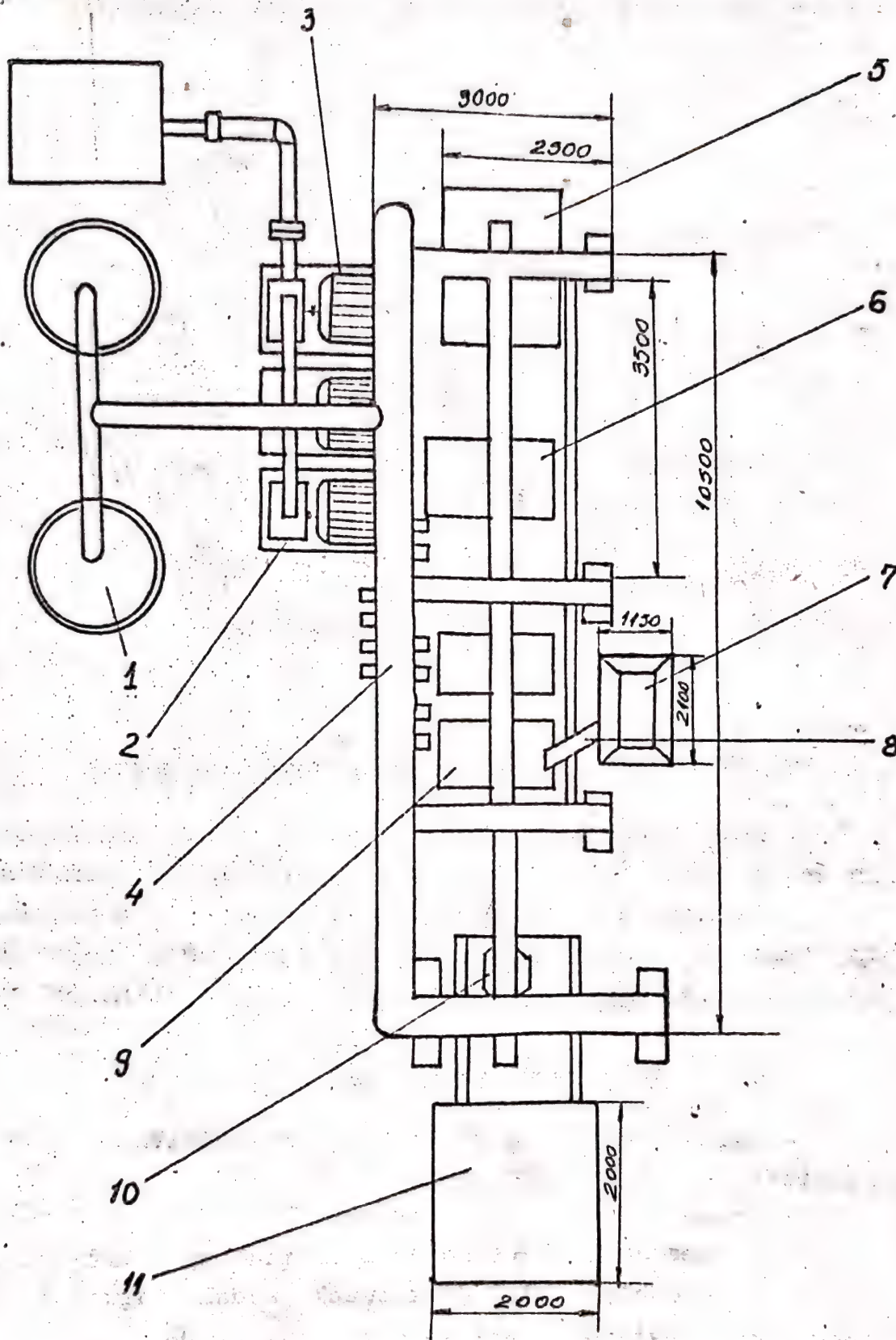
Experimentările se vor face pe instalația de turnare în forme vidate prezentată în figura 5.44.7.

Aparatura folosită cuprinde:

- rame de formare de construcție specială, figura 5.44.8.
- ansamblul placă port model, model, figura 5.44.9.
- inductori răciți cu apă, fig. 5.44.10.
- transformator de putere
- autotransformator.

În figura 5.44.12 se prezintă o vedere din față a ramei de formare iar în figura 5.44.14 o vedere de ansamblu a instalației pentru agitare.





**Fig.5.11.7.** Stația de vid: 1-două rezervoare de vid de 1,5 m<sup>3</sup>; 2-o pompă de aspirație MIL 501x2; 3-două pompe de aspirație MIL 502; 4-conductă de vid Ø 150; 5-masă pentru pregătirea foliei; 6-încălzitor folie; 7-buncăr nisip; 8-transportor cu melc; 9-rame de formare; 10-electropalan; 11-cameră de dezbatere

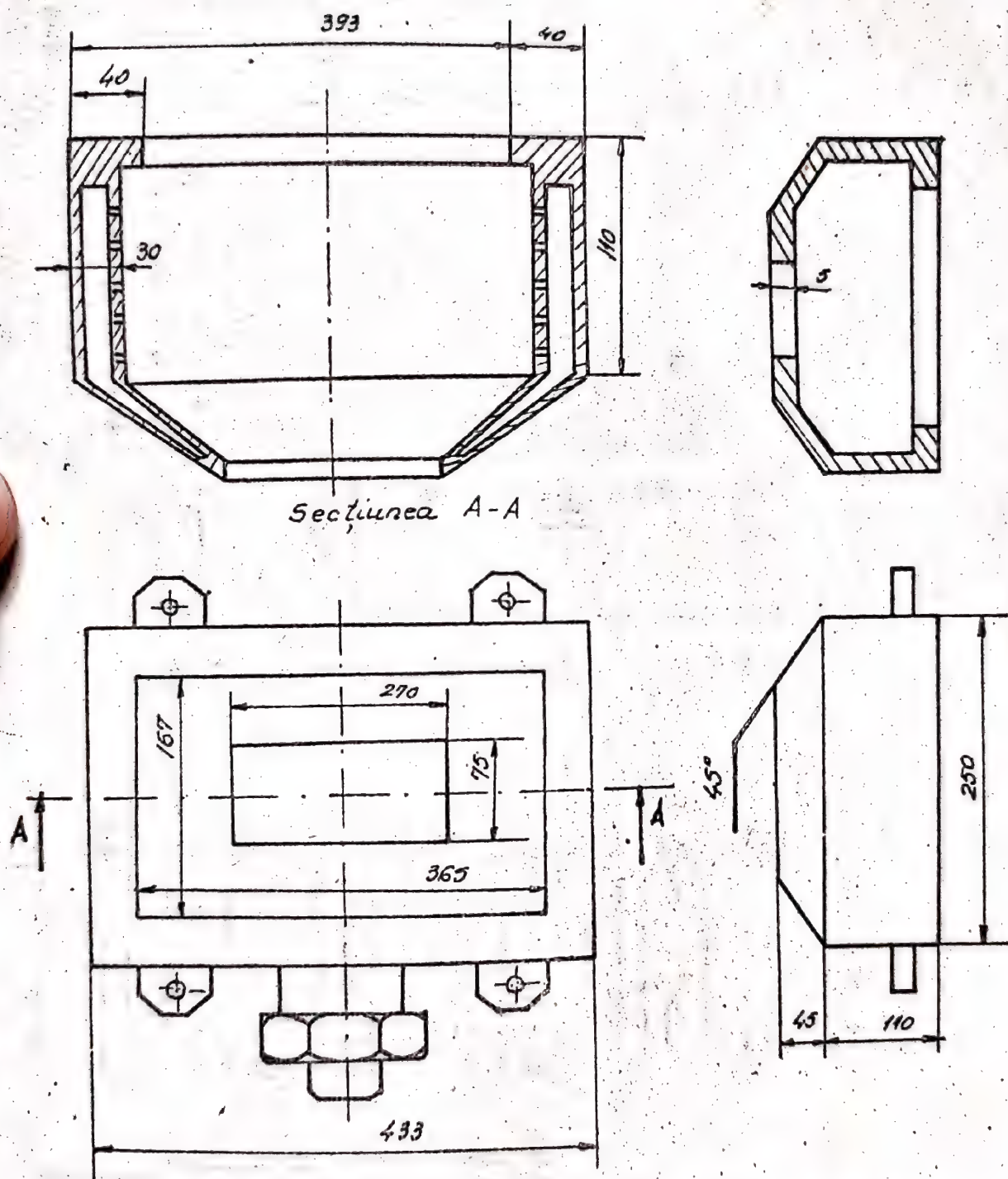


Fig.5.11.8. Rame de formare de construcție specială



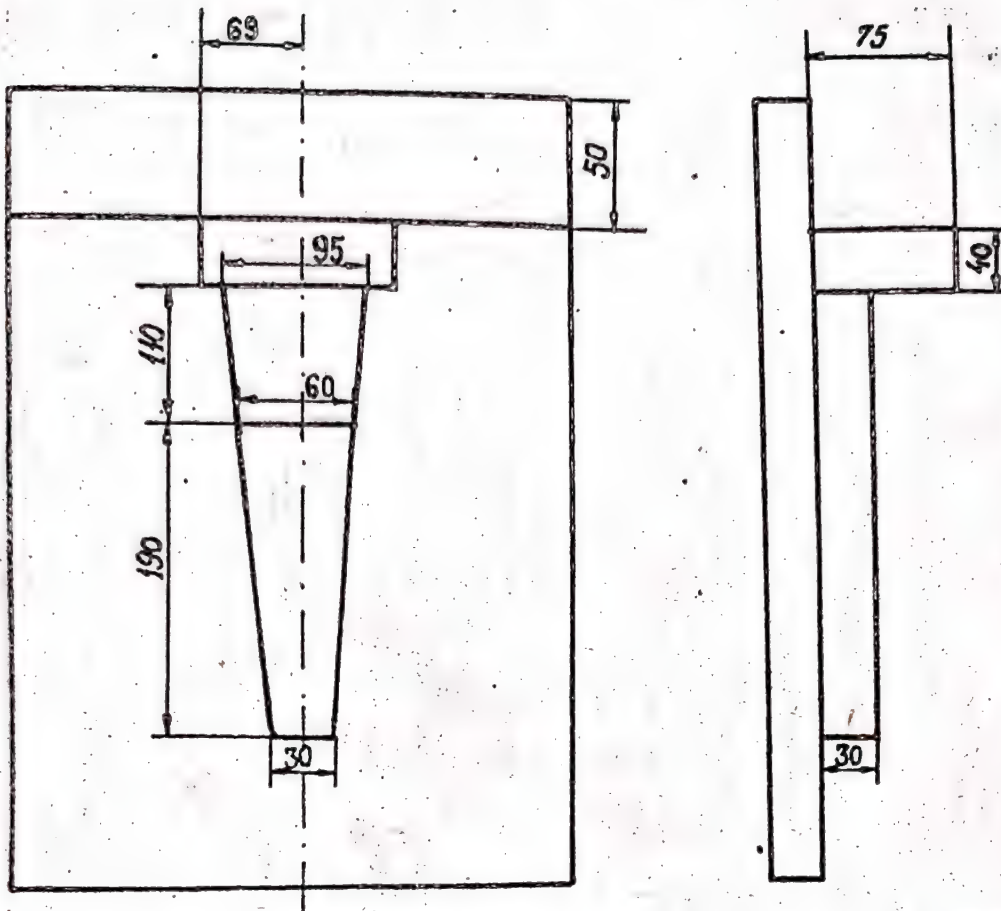


Fig.5.11.9. Ansamblu placă port model, model.

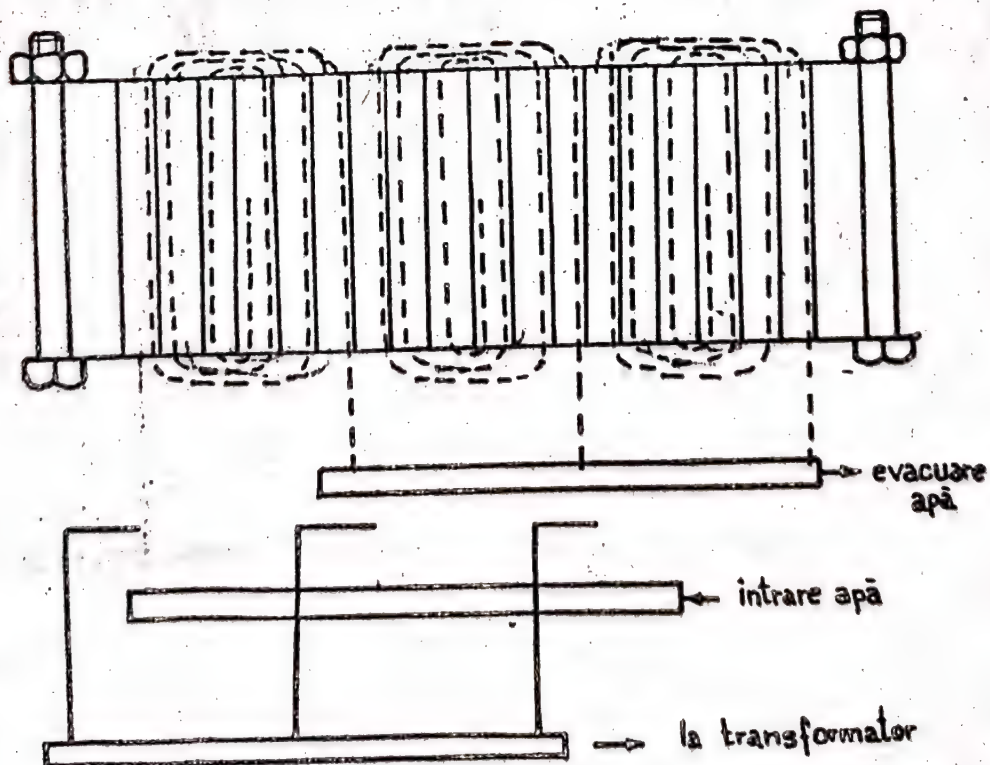


Fig.5.11.10. Inductori răciți cu apă.



Fig. 5.11.11. Vedere de ansamblu a instalației de agitare



Fig. 5.11.12. Vedere din față a ramei de formare



### 3. Modul de lucru

Pentru realizarea probelor necesare studierii influenței agitării magnetice asupra macrostructurii și segregăției, se vor turna probe paralelipipedice cu dimensiunile de 190 x 60 x 30 mm, vezi figura 5.4.9.

Ramele de formare, cu inductorii montați pe ele, sînt centrate pe placa port model, pe care a fost mulată o folie de polietilenă necesară realizării formelor vidate.

Mularea foliei pe placa port model cuprinde următoarele faze:

- pornirea stației de vidare. Pentru realizarea vidului se folosește o pompă tip MIL 501 x 2 racordată la un bazin cu apă cu capacitatea de 1 m<sup>3</sup> și dacă rezervoare tampon de vid cu volumul de 3 m<sup>3</sup>. Pompa este pusă în legătură cu o placă de susținere a plăcii port model, prevăzută cu orificii pentru absorbiția aerului de sub folia în curs de mulare;

- încălzirea foliei de polietilenă. Se face în scopul ușurării operației de mulare a acesteia pe model. Încălzirea foliei se face la o temperatură de 100-120°C cu ajutorul unui radiant cu infraroșii;

- mularea foliei. Se realizează legătura dintre placa de susținere a plăcii port model cu stația de vid pentru absorbiția aerului de sub folia de mulare.

În continuare se umple cu nisip uscat rama de formare.

Rama de formare are un furtun de legătură cu stația de vidare. După umplerea cu nisip a ramei de formare și etanșarea suprafeței superioare a acesteia cu o folie de acoperire se face legătura ramei de formare cu stația de vidare prin furtunul de legătură.

În acest moment are loc solidizarea formei.

Pentru realizarea demulării, ridicarea semiformei de pe placa port model, se întrerupe contactul dintre placa port model și stația de vidare.

Similar se realizează și cea de a doua semiformă.

După asamblarea celor două semiforme, acestea se închid și se consolidează turnarea făcîndu-se în plan vertical.

Se vor turna probe din oțel care vor fi solidificate în condițiile folosirii unui cîmp magnetic și al absenței acestuia.

În cazul solidificării probei în absența agitării magnetice turnarea oțelului se face pe la partea superioară prin maselotă, proba răcindu-se în formă pînă la temperatura de dezbateră.

La turnarea probei în cîmp magnetic se realizează legătura dintre inductori și transformatorul de putere. Transformatorul de putere este alimentat de la rețeaua de 380 V prin intermediul unui autotransformator.

Pentru punerea în evidență a agitării magnetice asupra segregăției și macrostructurii pieselor turnate din oțel se vor turna două probe în condițiile modificării intensității cîmpului magnetic.

La turnarea primei probe tensiunea de alimentare a transformatorului va fi 98 V, tensiunea în secundar 0,5 V, iar intensitatea curentului în secundar 500 A (250 A pe fază).

Pentru cea de a doua probă tensiunea de alimentare a transformatorului va fi 140 V, tensiunea în secundar 1 V, iar intensitatea curentului în secundar 1200 A (600 A pe fază).

În timpul agitării pentru preîntîmpinarea încălzirii inductorilor aceștia sînt răciți forțat cu apă prin intermediul unei instalații de răcire.

Agitarea magnetică se face pe toată perioada solidificării probei.

După solidificare se întrerupe alimentarea cu curent electric a inductorilor și se răcesc probele în formă pînă la temperatura de dezbateră.

#### 4. Rezultatele experimentale și concluzii

La probele turnate se va îndepărta maselota, se va secționa longitudinal și se va analiza poziția și mărimea rețasurii concentrate în fiecare din cele trei cazuri.

Probele turnate vor fi secționate longitudinal și se va analiza macrostructura și segregăția sulfului (amprenta Baumann pentru probele agitate în funcție de intensitatea curentului din inductor în comparație cu proba neagitată. Macrostructura se va analiza vizual pe toată secțiunea piesei și se vor prelucra probe pentru analiză la microscop de la baza, mijlocul și partea superioară a probei.



LUCRAREA nr. 5.42

INFLUENTA CONTINUTULUI DE CARBON ASUPRA PROPRIETATILOR MECANICE  
ALE OTELURILOR CARBON TURNATE IN PIESE

1. Considerații teoretice

Oțelurile carbon sînt aliaje Fe-C cu conținutul de carbon între 0,10 și 0,55%.

Oțelurile carbon turnate în piese se clasifică în trei grupe:

- grupa 1 - oțel cu prescripții pentru rezistență la rupere prin tracțiune și alungire;
- grupa 2 - oțel cu prescripții pentru rezistență la rupere prin tracțiune, pentru alungire și pentru limita de curgere;
- grupa 3 - oțel cu prescripții pentru rezistență la rupere prin tracțiune, pentru alungire, pentru limita de curgere și pentru reziliență sau gîtuire.

În funcție de valoarea rezistenței la rupere prin tracțiune oțelul carbon se clasifică în următoarele mărci, tabelul 1 ANEXA.

Elementul principal care reglează structura și proprietățile mecanice ale oțelurilor carbon turnate în piese este carbonul.

Structura oțelurilor carbon, oțeluri hipoeutectoide, este constituită din perlită și ferită. Cu creșterea conținutului de carbon crește cantitatea de perlită din masa metalică de la 20 la 60%. Structura brută de turnare a oțelurilor este neuniformă și nu asigură obținerea proprietăților mecanice cerute. De aceea, în vederea uniformizării și finisării structurii piesele din oțel carbon se tratează termic.

Cele mai răspîndite tratamente sînt cele de recoacere și normalizare.

Stabilirea conținutului de carbon al oțelurilor turnate în piese se face în funcție de proprietățile mecanice cerute, de condițiile în care se folosește piesa.

În figura 5.42.4 se prezintă corelația dintre proprietățile mecanice și conținutul de carbon al oțelului turnat.

Cu creșterea conținutului de carbon, prin mărirea proporției de perlită din structură, cresc valorile proprietăților  $R$ ,  $R_c$  și  $HB$ , în timp ce  $A$ ,  $Z$  și  $KCU$  se micșorează.

Între conținutul de carbon și rezistența la tracțiune la oțelurile carbon se poate stabili următoarea relație:

$$R = 33 + 63\% C \text{ [daN/mm}^2\text{]}$$

Duritatea, ca și rezistența la tracțiune, se mărește liniar cu creșterea conținutului de carbon de la 120 la 180 HB în cazul unui tratament de recoacere sau până la 220 HB în cazul unui tratament de normalizare, la conținuturi de 0,45-0,50% C.

Tratamentul de recoacere permite obținerea unei structuri de echilibru caracterizată printr-un număr mare de grăunți de ferită și de perlită lamelară uniform repartizați. Tratamentul de recoacere nu schimbă proporția constituenților ci numai numărul, forma și modul de repartizare a grăunților.

Prin tratamentul de normalizare se urmărește o finisare și mai mare a structurii.

În stabilirea conținutului de carbon al oțelurilor carbon turnate în piese pe lângă proprietățile mecanice trebuie să se țină seamă și de influența carbonului asupra proprietăților de turnare.

Creșterea conținutului de carbon conduce la creșterea contracției, deci la creșterea volumului de ratasură, la micșorarea tendinței de formare a crăpăturilor la cald, la mărirea tendinței de formare a tensiunilor, la micșorarea fluidității reale dar la creșterea fluidității practice.

## 2. Modul de lucru

Pentru a studia influența carbonului asupra proprietăților mecanice ale oțelurilor turnate în piese se elaborează în

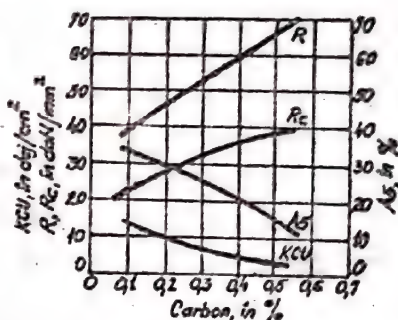


Fig. 5.42.4. Influența carbonului asupra proprietăților mecanice ale oțelurilor



cupatorul cu inducție o șarjă de oțel din fier ARMCO sau fier vechi cu un conținut cât mai scăzut de carbon.

Baia se carburează pînă la conținutul de carbon necesar cu spărturi de electrozi. Calculul cantității de spărturi de electrozi se face în funcție de conținutul inițial de carbon al băii, de conținutul de carbon al spărturilor de electrozi și de gradul de asimilare al carbonului în baia metalică.

Se determină cantitatea de spărturi de electrozi care se introduce în baie pentru conținuturi de 0,25; 0,35; 0,45 și 0,55% C.

Pentru conținuturile de carbon nominalizate mai sus se toarnă probe  $\varnothing 30 \times 400$  mm în forme din amestec crud și uscat.

Din fiecare marcă de oțel se vor confecționa probe pentru determinarea principalelor proprietăți mecanice, rezistența la tracțiune și duritatea, precum și șlifuri pentru studierea structurii la microscopul metalografic.

### 3. Rezultate experimentale și interpretarea lor

După efectuarea încercărilor de tracțiune și determinarea durității se vor trasa următoarele grafice:

$$R = f (\% C)$$

$$HB = f (\% C)$$

pentru cazul turnării în forme din amestec crud și uscat.

La microscopul metalografic se va urmări variația proporției de perlită în funcție de conținutul de carbon și influența vitezei de răcire asupra structurii secundare a oțelurilor.

## INFLUENȚA GRADULUI DE ECRUISARE ASUPRA PROPRIETĂȚILOR MECANICE ALE OTELULUI MANGANOS

### 1. Considerații teoretice

Oțelurile înalt aliate cu mangan sînt cunoscute sub denumirea de oțeluri manganose sau oțeluri Hadfield.

Elementul principal de aliere este manganul, care variază între 11,5 și 14,5 %.

În general compoziția oțelului manganos variază între limitele 1,0...1,4% C, 0,4...1,0% Si, 0,08...0,12% P, 0,02...0,04% S. În unele cazuri oțelul se poate alia suplimentar cu 0,5...2,5% Cr și 0,5...2,0% Mo. Raportul optim Mn/C este de aproximativ 10.

Structura oțelurilor manganose prezintă unele particularități ca urmare a influenței manganului asupra domeniilor structurale în sistemul Fe-Mn-C.

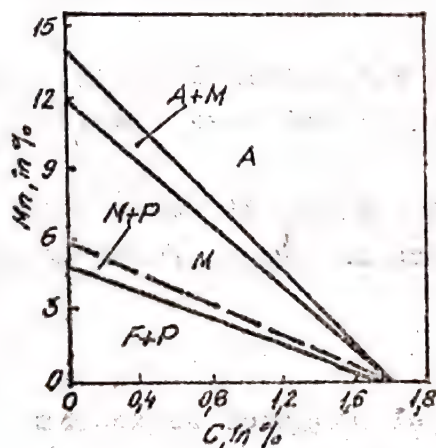


Fig. 543A. Diagrama structurală a oțelurilor înalt aliate cu mangan

Structura primară este constituită din austenită, iar la răcirea încetă pînă la temperatura eutectoidă se separă din austenita suprasaturată în carbon, la limita grăunților, carburi complexe de mangan și fier ( $\text{Fe}_3\text{C}-\text{Mn}_3\text{C}$ ).

Deoarece structura austenitică de turnare este neuniformă și fragilă, piesele nu au

proprietăți ridicate de plasticitate și tenacitate, putîndu-se sparge în timpul îndepărtării rețelilor de turnare sau a bovrilor. De aceea la aceste oțeluri se aplică obligatoriu tratamentul de călire, temperatura de călire fiind cuprinsă între 1050 și 1150°C în funcție de conținutul de carbon.

Prin tratamentul de călire se urmărește dizolvarea carburilor și obținerea structurii austenitice.



Oțelurile austenitice manganoase călite prezintă proprietăți specifice mecanice și de exploatare:

- rezistență ridicată la tracțiune,  $R = 80...100 \text{ daN/mm}^2$ ;
- limita de curgere scăzută  $R_c = 25...40 \text{ daN/mm}^2$ ;
- raportul  $R_c/R$  foarte mic,  $0,3...0,4$ ;
- alungire și reziliență ridicată,  $A = 40...45\%$ ,  
 $KCU = 20...30 \text{ daJ/cm}^2$ ;
- duritate relativ scăzută,  $180...220 \text{ HB}$ .

Principala caracteristică a oțelurilor manganoase o constituie rezistența mare la uzură în condiții de solicitare a pieselor la șoc.

Rezistența ridicată la uzură se explică prin procesul de ecruisare. În urma acestor procese, duritatea crește până la  $450...500 \text{ HB}$ .

Ecruisarea se poate explica prin mai multe mecanisme:

- schimbarea structurii cristaline fine și a proprietăților cristalelor de austenită;
- formarea la suprafață a unui număr mare de plane de alunecare și prin urmare o consolidare și o creștere a durității secundare;
- formarea martensitei de deformare la suprafața solici-tată;
- separarea de carburi ca urmare a micșorării parametrilor rețelei și eliminării carbonului din soluții datorită creșterii gradului de deformare.

În aceste condiții oțelul manganos poate fi folosit ca un material foarte rezistent la uzură dacă în timpul funcționării este supus la șocuri și la presiuni.

## 2. Modul de lucru

După elaborarea unei șarje de oțel manganos se toarnă probe cilindrice cu dimensiunile  $\varnothing 35 \times 40 \text{ mm}$ .

Probele se supun unui tratament de călire în apă la  $1050^\circ\text{C}$ .

Se recomandă ca încălzirea pentru călire să se facă cu viteză mică deoarece conductivitatea termică a oțelului manganos, este de cca 3,5 ori mai mică decât a oțelului carbon, iar coeficientul de dilatare termică liniară de 2 ori mai mare. În acest fel se micșorează tendința de formare a tensiunilor termice și a crăpăturilor.

După tratamentul de călire probele se polizează pe cele

două fețe plane și se măsoară duritatea probelor.

În continuare probele se supun operației de ecruisare.

Ecruisarea probelor se realizează la o sonetă de laborator variind numărul de lovituri.

### 3. Rezultate experimentale și concluzii

Se va măsura din nou duritatea probelor pentru diferite grade de ecruisare și se va trasa graficul variației durității în funcție de gradul de ecruisare.



## METODE PENTRU IDENTIFICAREA RAPIDA A OTELURILOR

### 1. Considerații teoretice

Metodele de identificare rapidă a oțelurilor permit aproximarea prezenței și cantității elementelor de aliere din oțel.

În practică se folosesc în mod uzual:

- metoda de încercare la scînteie
- metoda microanalizei
- metoda magnetică

Încercarea la scînteie. La polarizarea oțelurilor, forma, lungimea, amplasarea, intensitatea luminoasă și culoarea scînteilor, caracterizează compoziția chimică a acestora.

Cu ajutorul acestei metode se determină destul de precis conținutul de carbon al unui oțel, deoarece fasciculul de scînteie se datorează în principal arderii carbonului. Prin polizare are loc smulgerea unor mici particule din proba de oțel, la o temperatură ridicată. Aceste particule se oxidează rapid la suprafața stratului de oxid format putîndu-se exfolia ușor. În interiorul particulelor încălzite, carbonul și oxigenul intră în reacții rezultînd  $\text{CO}_2$  și  $\text{CO}$ , care sparg pelicula de oxizi și formează explozii.

La efectuarea încălcării la scînteie se urmăresc anumite elemente caracteristice ale fasciculului de scînteie și anume aspectul traiectoriilor și al exploziilor.

Formele de bază ale traiectoriilor, figura 5.44.1, sînt următoarele:

- 1- traiectorii întrerupte;
- 2- traiectorii ramificate;
- 3- traiectorii bifurcate;
- 4- explozii pe parcursul traiectoriei;
- 5- traiectorii cu capătul descompus;
- 6- traiectorii cu capătul continuat.

Formele de bază ale exploziilor, figura 5.44.2, sînt următoarele:

- 1-suliță; 2-lance; 3-bușet; 4-măciucă; 5-picătură.



Fig. 5.14.1. Formele de bază ale razelor

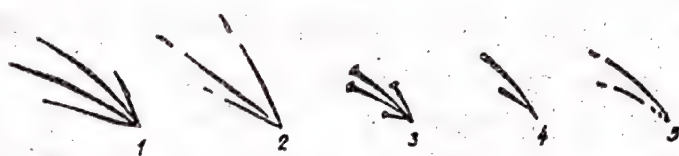


Fig. 5.14.2. Formele de bază ale exploziilor

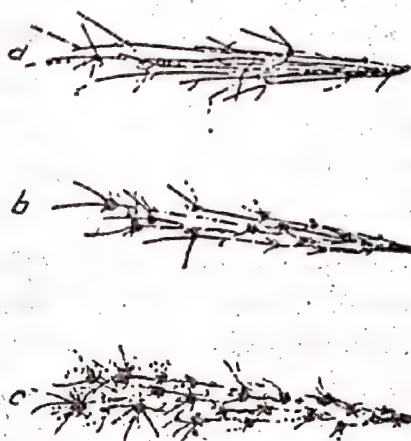


Fig. 5.14.3. Aspectul scinteiilor pentru  
oțeluri carbon:  
a-0,2%; b-0,5%; c-0,8% C.



Fig. 5.14.4. Aspectul scinteiilor unui oțel Cr-Mo  
de cementare 1,19% Cr,  
0,44% Mo

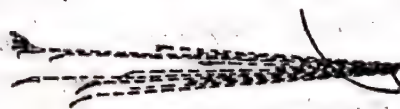


Fig. 5.14.5. Aspectul scinteiilor  
unui oțel rapid



Cu creșterea conținutului de carbon fasciculul de scintei devine mai bogat în traiectorii, mai scurt, iar numărul exploziilor mai mare, figura 5.442.

Culoarea fasciculului pentru oțeluri carbon este portocaliu rogu-deschis. Luminozitatea fasciculului crește cu conținutul de carbon până la 0,45%C, după care scade, exploziile fiind în formă de lance.

Siliciul produce un fascicul de scintei de culoare mai închisă diminuând exploziile carbonului.

Manganul produce o explozie caracteristică, mică, în formă de buchet.

Nichelul produce o îngroșare albă luminoasă alungită a traiectoriei în timp ce cromul produce un fascicul de traiectorii mai subțiri, mai puțin luminoase și explozii mai mici decât un oțel carbon.

Molibdenul produce la capătul fiecărei traiectorii, detașate de acestea, o virgulă descendentă de culoare roșie.

Oțelul inoxidabil prezintă un fascicul foarte scurt, aproape fără explozii în timp ce oțelul rapid de scule prezintă un fascicul de scintei de culoare rogu închis; cu traiectorii întreprupte și explozii în formă de măciucă la capătul lor.

În figurile 5.443, 5.444, 5.445, se prezintă aspectul scinteiilor pentru un oțel carbon cu diferite conținuturi de carbon, pentru un oțel Cr-Mo de cementare și pentru un oțel rapid.

Metoda microanalizei. Se utilizează pentru determinarea rapidă a elementelor de aliere, nichel, crom, molibden, din oțel prin încercări microchimice.

Metoda magnetică. Se utilizează pentru determinarea stării structurale a oțelurilor pe baza proprietăților magnetice diferite ale fazelor din oțel.

## 2. Modul de lucru

Încercarea la scintei constă în compararea aspectului scinteiilor desprinse la polarizarea probelor necunoscute cu cel al barelor etalon din oțeluri cu compoziție chimică cunoscută.

Barele etalon sînt marcate cu simbolurile oțelurilor respective, avînd dimensiunile de  $\varnothing 20\text{ mm}$  și  $L = 200\text{ mm}$ .

Bara etalon și proba necunoscută vor fi încercate în același timp fiind apăsate cu aceeași putere de piatra de polizor.

La executarea încercării se va urmări și se va compara nu mai aspectul traiectoriilor și exploziilor

Se va identifica de fiecare student un număr de 3 probe.

## CAPITOLUL 6

### INSTRUCȚIUNI TEHNOLOGICE DE ELABORARE

#### 6.1. ELABORAREA OTELULUI CARBON TURNAT ÎN PIESE ÎN CUPTOR ELECTRIC CU ARC BAZIC

##### I. Generalități

1. Caracteristicile mecanice ale oțelurilor: conform STAS 600-82.

2. Compoziția chimică a metalului lichid: conform STAS 600-82.

Conținutul de aluminiu va fi de minimum 0,035%.

Observații:

a) Abaterile de la compoziția chimică nu constituie motiv de respingere dacă se obțin caracteristicile mecanice și în contract nu s-a prevăzut altfel.

b) Determinarea compoziției chimice prin luarea unei probe din șarjă la mijlocul turnării metalului din oală.

c) Pentru executarea epruvetelor necesare determinării caracteristicilor mecanice, probele se vor preleva la mijlocul turnării metalului din oală și se vor turna separat în aceleași condiții tehnologice cu piesele.

d) În cazul în care nu se poate întrerupe turnarea pentru a lua probe la mijlocul turnării din oală, probele pentru analiza chimică și încercări mecanice, se vor lua din appendicele special prevăzut pe piesă.

e) Conținutul de aluminiu se va însera în buletinul de analiză.

##### II. Materii prime și materiale folosite

###### 1. Incărcătura metalică:

- fier vechi (provenit din colectare);
- deșeuri de la atelierul de debitare al uzinei (table, profile, țevi);
- deșeuri proprii ale secției (maselote, rețele, pierderi tehnologice);
- șutaje și piese rebutate prin forjare;
- fontă albă de afinare, STAS 882-76.

Indiferent de proveniență, fierul vechi trebuie să fie lipsit de grăsimi, umiditate, vopsele.



2. Pentru carburare se folosesc:

- deșeuri de electrozi de grafit;
- fontă albă (de afinare);
- cocs petrol (STAS 973-73) calcinat la  $100^{\circ}\text{C}$ .

Observații:

- a) Nu se admite utilizarea coșului metalurgic pentru carburare.
- b) Nu se permite imersarea electrozilor în baia de metal.
- c) Deșeurile de electrozi și cocsul de petrol se vor concasa la o granulație de maximum 50 mm/buc.

3. Pentru formarea zgurii se folosesc:

- var metalurgic proaspăt ars și concasat. Varul folosit la dezoxidare va fi încălzit la  $150-200^{\circ}\text{C}$ . Praful rezultat la operația de concasare nu se folosește la formarea zgurii;
- fluorură de calciu concasată la granulația de 25-30 mm și încălzită la  $150-200^{\circ}\text{C}$ ;
- cocs de petrol sau deșeuri de electrozi, folosiți la formarea zgurii dezoxidante, granulație 1 mm și încălziți la temperatura de  $110-120^{\circ}\text{C}$ .

4. Pentru decarburare se folosesc:

- minereu de fier, bulgări cu dimensiuni de 40-150 mm, calcinat la  $300-500^{\circ}\text{C}$ ;
- afinarea se poate face și prin insuflarea de oxigen în baia metalică.

5. Pentru dezoxidarea oțelului și aliere se folosesc:

- feromangan;
- ferosiliciu;
- silicomangan;
- aluminiu.

Observații:

- a) Toate feroaliajele utilizate la dezoxidare se vor calcina în prealabil: ferosiliciul la  $1150^{\circ}\text{C}$ , feromanganul și silicomanganul la  $850^{\circ}\text{C}$ .

III. Ajustarea cuptorului

1. Ajustarea zidăriei cuptorului se va face după fiecare garjă elaborată, conform instrucțiunilor tehnologice interne.

2. Pentru ca ajustarea cuptorului să se facă într-un timp cât mai scurt, 10-15 min, este necesar ca materialele de ajustare să fie aduse la cuptor și pregătite înainte de evacuarea șarjei.

3. După evacuarea șarjei cuptorul se scoate din circuitul electric, se înclină spre orificiul de evacuare până la refuz pentru a îndepărta resturile de oțel lichid și zgură.

4. Pentru ca zidăria cuptorului să nu se răcească în timpul ajustării se recomandă ca electrozii să fie ridicați din poziția de lucru atât cât este necesar pentru desfășurarea în bune condiții a operației de ajustare. Prin menținerea caldă a zidăriei, materialele utilizate la ajustare fac priză mai ușor cu zidăria.

5. Pentru părțile înclinate ale cuptorului se folosește la ajustare magnezită granulară în amestec cu gudron sau silicat de sodiu iar pentru planul zgurei, magnezită cu 10% var stins.

6. După ajustare, înainte de încărcarea cuptorului, se verifică starea zidăriei și anume:

- vatra nu trebuie să prezinte denivelări, gropi, resturi de zgură sau oțel de la șarja precedentă;
- pereții să nu prezinte tendințe de surpare;
- bolta să aibă zidăria completă și să nu fie căzută;
- jgheabul după ajustare să fie dat cu vopsea refractară și uscat.

#### IV. Încărcarea cuptorului

1. Pentru elaborarea oțelului carbon turnat în piese încărcătura nu va conține fier vechi aliat,

2. Încărcătura metalică la sfârșitul perioadei de topire trebuie să asigure un conținut de carbon al băii metalice mai mare cu 0,25-0,30% decât limita inferioară a conținutului de carbon a mării de oțel care se elaborează. Reglarea conținutului de carbon se face prin intermediul elementelor carburante (v. II.2).

3. Încărcătura metalică trebuie să asigure după topire un conținut de mangan de minim 0,25% în baia metalică.



4. Se recomandă ca fierul vechi să fie sortat pe categorii de mărime:

- bucăți mici (2...7 kg/buc);
- bucăți medii (8...40 kg/buc);
- bucăți mari (peste 40 kg/buc).

Pentru a se obține o compactitate ridicată a încărcăturii se recomandă următoarele proporții:

Tabelul 6.14.

Proporția și calitatea fierului vechi folosit în încărcătura metalică

Capacitatea cuptorului, t	Componenta încărcăturii (% greutate)		
	bucăți mari	bucăți medii	bucăți mici
1,5...5	20...30	30...40	30...35
5...10	25...35	30...40	25...30

5. Înainte de introducerea încărcăturii în cuva cuptorului pe vatra cuptorului se încarcă 25...30% din cantitatea de var necesară formării zgurei (circa 20 kg/t oțel lichid).

6. Pe vatra cuptorului se așază fier vechi mărunț și greu cu scopul de a proteja vatra la încărcarea bucăților mari și grele și de acțiunea arcului electric în perioada de topire.

Peste stratul tampon se încarcă jumătate din carburant, restul de var pentru formarea zgurei de topire și bauxită pentru fluidizarea zgurei. În continuare se încarcă fierul vechi greu și pentru a asigura compactitatea încărcăturii între bucățile de fier vechi greu se introduce restul de carburant și fier vechi mărunț. Urmează fierul vechi mijlociu iar deasupra fierul vechi ușor.

Sub electrozi se așază fier vechi mărunț, strunjături sau cocs mărunț pentru stabilizarea arcului.

7. Încărcarea se face la cuptoarele mici manual sau mecanizat la cele mari.

## V. Topirea

1. Durata perioadei de topire se recomandă să nu depășească 90 minute.

2. După formarea băii metalice se vor împinge bucățile de fier vechi netopite în baie iar eventualele poduri formate

vor fi tăiate cu oxigen astfel ca încărcătura metalică rămasă suspendată să cadă în baie.

3. Imediat ce se formează baia lichidă se adaugă în zona electrozilor var pentru formarea zgurii care să protejeze baia de atmosfera din cuptor.

4. La sfârșitul topirii se amestecă bine baia metalică, și se ia probă pentru determinarea compoziției chimice. Din prima probă se determină conținutul de C; Mn; Si; P; S.

5. Bazicitatea zgurei după topire trebuie să fie 2,0... 2,5.

6. Pentru a se obține o bună defosforare pe zgura de topire se adaugă minereu de fier mărunț calcinat, în cantitate de 3-5 kg/t.

Când zgura de topire a început să spumeze, se ridică electrozii, și se evacuează din cuptor.

După evacuarea zgurei de topire se va forma o nouă zgură pentru afinare.

7. Dacă conținutul de Mn al băii metalice este mai mic decât cel prevăzut la punctul IV.3, se crește conținutul de mangan prin adăugarea în baia metalică de:

- feromangan;
- deșeuri de oțel manganos.

8. Conținutul de carbon la sfârșitul perioadei de topire va trebui să asigure arderea a 0,2...0,6% C în timpul perioadei de afinare.

#### VI. Afinarea - fierberea

1. Afinarea - fierberea, are ca scop îndepărtarea gazelor (hidrogenul și azotul) și incluziunilor nemetalice din baia de oțel și se produce cu minereu de fier sau oxigen tehnic.

2. Baia metalică înainte de începerea afinării cu minereu trebuie să aibă temperatura de minimum  $1580^{\circ}\text{C}$  iar în cazul utilizării oxigenului de minimum  $1600^{\circ}\text{C}$ .

3. Afinarea începe imediat după luarea probelor de topire. În cazul în care conținutul de fosfor al probei este mai mare decât cel prescris, se trage  $2/3$  din zgura de topire și se formează o nouă zgură cu var, bauxită și minereu. Se lasă zgura să spumeze după care se trage în proporție de  $2/3$ .



4. Fierberea cu minereu cuprinde două etape:

- subperioada de fierbere intensă cu minereu;
- subperioada de fierbere liniștită (fără minereu).

Subperioada de fierbere intensă se execută cu următorul amestec introdus în porții:

- minereu - atât cât este necesar, considerând  $0,8 \text{ kg/t}$  minereu pentru fiecare  $0,01\% \text{ C}$  ce trebuie oxidat;
- var, în cantitate egală cu minereul;
- bauxită,  $2\%$ .

Durata subperioadei de fierbere intensă este de circa  $30...40$  minute, cu o viteză medie de decarburare  $0,36-0,48\% \text{ C/h}$ , pentru a nu se produce eroziunea vetrei. Între viteza de oxidare a carbonului și viteza de oxidare a manganului trebuie să se stabilească raportul constant  $V_{\text{Mn}}/V_{\text{C}} = 1...1,25$ . În timpul acestei subperioade zgura trebuie să fie spumoasă și să debordeze peste prag.

Subperioada de fierbere liniștită durează  $15...25$  minute, viteza de decarburare fiind mai mică de  $0,25\% \text{ C/h}$ .

La sfârșitul perioadei de fierbere conținutul de carbon al băii metalice trebuie să fie egal cu limita inferioară a mărcii de oțel elaborat, iar cel de mangan să fie cu cel puțin  $0,10\%$  sub limita inferioară prescrisă pentru oțel.

5. Pe toată durata afinării se controlează decarburarea prin luarea de probe în formă metalică, figura 6.1.1 și determinarea elementelor la laborator.

Pentru aprecierea rapidă a conținutului de carbon al băii, în practică se poate utiliza proba de îndoire, care constă în forjarea unui lingou mic, sub formă de bară cu secțiunea pătrată ( $10 \times 10 \text{ mm}$ ) și lungimea  $150-200 \text{ mm}$ . Lingoul se răcește și se îndoaie la ciocan, în funcție de unghiul de îndoire apreciindu-se conținutul de carbon, figura 6.1.2.

6. Conținutul de mangan din baia metalică, nu trebuie să fie mai mic de  $0,25\%$ . În cazul în care conținutul de mangan se micșorează sub această valoare în baie se adaugă feromangan.

7. Afinarea cu oxigen se face prin însuflarea acestuia în baia metalică cu ajutorul unei țevi consumabile de  $\varnothing 28 \times 4 \text{ mm}$ .

Teava de însuflare se fixează în dispozitivul care este racordat la o țevă de cupru și prin intermediul unui furtun este legat la sursa de oxigen.

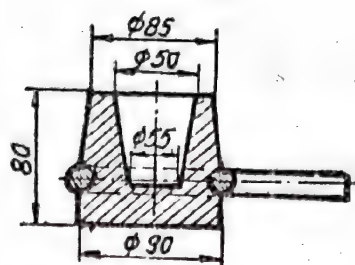


Fig.6.1.1. Cochilă pentru probe

<u>Unghi de îndoire</u>	<u>Conținutul în C%</u>
	0,35
	0,30
	0,25
	0,23
	0,20
	0,17
	0,15
Ruptură incompletă	0,12
Începutul rupturii	0,10

Fig.6.1.2. Corespondența dintre unghiul de îndoire și procentul de carbon



În timpul însuflării cu oxigen zgura se menține fluidă și puternic bazică.

Pe toată durata însuflării cu oxigen curentul electric va fi întrerupt și electrozii ridicați.

Presiunea cu care se însuflă oxigenul în baie va fi de 8... 10 at.

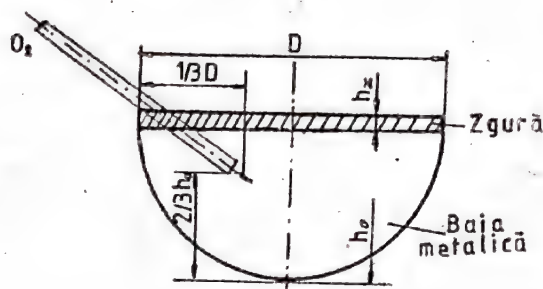


Fig. 6.4.3. Schema însuflării cu oxigen

În timpul însuflării cu oxigen pe baia metalică se adaugă var și fluorură de calciu. Cuptorul se va înclina în față pentru ca zgura din cuptor în timpul fierberii să poată deversa. Mișcarea țevii de însuflare se va face numai în plan cu un unghi de  $20^\circ$  în stânga și dreapta pentru a evita pericolul formării de gropi în zidăria vetrei sau a pereților și îngroșării pereților deasupra zgurei.

## VII. Dezoxidarea și alierea

1. În partea finală a perioadei de afinare se oprește procesul de decarburare prin adăugarea în baia metalică a unei cantități de feromangan, care să asigure un conținut de mangan în baie sub limita inferioară prescrisă.

2. Se îndepărtează complet din cuptor (min 95%) zgura oxidantă.

3. Dezoxidarea prin difuzie comportă următoarele faze:

- formarea zgurei de primire;
- albirea zgurei;
- menținerea băii metalice sub zgură albă.

4. Formarea zgurei de primire se face imediat după ce se elimină zgura oxidantă prin introducerea în cuptor a unui amestec format din var 20 kg/t și fluorură de calciu 3 kg/t.

Amestecul se introduce gata format, în două porții egale la interval de 10 minute.

După 20 minute zgura este formată și poate primi amestecul pentru albire.

5. Se ia o probă de oțel și dacă în compoziția finală conținutul de mangan este mai mare de 0,40% se execută o predeoxidație cu 2-3 kg/t feromangan sau silicomangan.

6. Amestecul pentru albirea zgurei diferă în funcție de conținutul final de carbon al oțelului.

Pentru oțeluri cu un conținut de carbon mai mare de 0,25% amestecul conține var, cocs și fluorură de calciu în proporție de 5:3:1. Amestecul se introduce într-o singură porție.

Pentru oțeluri cu un conținut de carbon mai mic de 0,25% amestecul pentru albire conține var, cocs, ferosiliciu praf 75% și fluorură de calciu în proporție de 5:1,5:1,5:1. Amestecul se poate adăuga în mai multe reprize, amestecând baia după fiecare porție.

7. După obținerea zgurei albe se adaugă feromangan până la limita inferioară a mărcii de oțel și se ia o probă de oțel pentru determinarea conținutului de carbon și mangan, după care se amestecă din nou baia 10 minute.

8. Temperatura băii fiind ridicată se poate trece la menținerea băii metalice sub zgură reducătoare până la evacuarea oțelului.

Menținerea sub zgură reducătoare (dezoxidarea) se face cu un amestec de var, ferosiliciu 75% și fluorură de calciu în proporție de 6:2:1. Amestecul se introduce gata format în trei reprize la intervale de 5...10 minute. Pe lângă amestec se introduce 0,5...1 kg/t cocs petrol pentru menținerea zgurei albe.

După introducerea în cuptor a celei de a doua porții de amestec reducător se ia o probă de zgură pentru determinarea FeO și se măsoară temperatura oțelului. Controlul temperaturii se face și cu ajutorul termocuplului de imersie.

După introducerea ultimei porții se măsoară din nou temperatura băii metalice.

9. Gradul de dezoxidare realizat se verifică prin probe tehnologice luate în coșilă. O probă bine dezoxidată nu mai emană gaze și scântei iar după solidificare are o suprafață concavă, fig. 6.14.

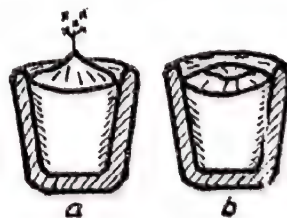


Fig. 6.14. Probe de oțel după dezoxidare:  
a-oțel insuficient dezoxidat;  
b-oțel dezoxidat complet.



10. Se fac corecțiile necesare de compoziție chimică prin adăugarea feroaliajelor respective.

Înainte de evacuarea șarjei cu 15 minute se introduce ferosiliciu 75% pentru aliere la limita superioară a mărcii de oțel care se elaborează.

11. Pentru dezoxidarea finală se introduce în oala pentru turnare 0,5-0,6 kg/t aluminiu.

#### VIII. Evacuarea și turnarea

1. Temperatura băii metalice în cuptor, măsurată cu termocuplul de imersie, înainte de evacuare trebuie să fie:

- 1680°C pentru OT400- OT450;
- 1650°C pentru OT500- OT550;
- 1640°C pentru OT600- OT700.

2. În perioada încălzirii băii metalice în cuptor până la temperatura de evacuare se verifică dacă jgheabul cuptorului se află în stare bună, dacă orificiul de curgere este curățat, dacă mecanismul de închidere-deschidere a oalei funcționează.

Oala va fi încălzită la minimum 700°C, timpul maxim de menținere la jgheab fiind de 10 minute.

3. Când temperatura oțelului este cea prescrisă și se cunoaște compoziția chimică se face evacuarea șarjei.

4. După umplerea oalei se lasă circa 5...7 minute oala pentru a se decanta incluziunile și a se ajunge la temperatura de turnare,  $T_t = 1460 - 1480^{\circ}\text{C}$ .

## 6.2. ELABORAREA IN CUPTOR ACID A OTELULUI CARBON TURNAT IN PIESE

### I. Generalități

1. Caracteristicile mecanice ale oțelurilor conform STAS
2. Compoziția chimică a metalului lichid conform STAS.

### II. Materii prime și materiale folosite

#### 1. Incăleștarea metalică se compune din:

- fier vechi , deșeuri de oțel carbon cu max. 0,05% P, provenit din șine de cale ferată, osii, bandaje, cu dimensiunile maxime de 200 x 200 x 200 mm;
- așchii de oțel sfărâmate și brichetate; nu se admite folosirea brichetelor provenite din așchiile de oțeluri aliate de la sculărie;
- deșeuri de tablă, balotate în pachete de max. 500 x 400 x 250 mm;
- bavuri de forjă, din oțel carbon, cu grosimea minimă de 6 mm, debitate la dimensiuni de 200 x 200 mm;
- deșeuri recirculate proprii.

2. Pentru carburare se folosește cocs petrol sau fontă de afinare în proporție de 2...3%.

#### 3. Pentru formarea zgurei se folosesc:

- var metalurgic;
- nisip cuarțos uscat.

#### 4. Pentru aliere și dezoxidare se folosesc:

4. -  $\text{FeMn4}$ ;
- aluminiu bloc Al 99%.

Înainte de utilizare, feromanganul se calcinează iar aluminiul se preîncălzește la 200°C.

### III. Ajustarea cuptorului

1. După evacuarea șarjei de oțel din cuptor, acesta se menține înclinat până la scurgerea tuturor resturilor de oțel și zgură.



2. Se readuce cuptorul în poziție orizontală și se examinează starea vetrei.

3. Dacă vatra nu prezintă gropi și resturi de oțel sau zgură se aruncă nisip cu lopata, începînd cu pantela pereților și terminînd cu vatra. Operația se execută cît pereții cuptorului sînt calzi.

4. Dacă vatra are gropi mici, în care se găsesc resturi de oțel și zgură, se reface pieptul cuptorului, după care se basculează cuptorul în poziția cea mai înclinată pentru scurgerea resturilor de oțel și zgură.

5. Dacă vatra are gropi mari cu resturi de oțel se reface pieptul cuptorului în poziție înclinată și se aruncă lopeți de nisip în zonele afectate ale vetrei din care s-au scurs resturile de oțel și zgură.

6. Dacă temperatura cuptorului a scăzut mult se utilizează pentru ajustare următorul amestec: cuarțită sau nisip de Agihireș spălat 82%, bentonită 15% și silicat de sodiu 3%. Silicatul de sodiu se dizolvă în apă caldă (1:1).

După ce se depune un strat de circa 50 mm pe vatră și părțile înclinate ale vetrei se coboară electrozii înroșiți, se închide ușa și în timp de 10...15 min, materialul de ajustare este sudat.

#### IV. Încărcarea cuptorului

Încărcătura pentru elaborarea unei șarje se compune

din:

- încărcătură metalică procurată din întreprindere sau din afară;
  - materiale metalice recirculate;
  - cocs petrol, uscat și măcinat la dimensiuni de max. 10 mm
- Încărcarea cuptorului cuprinde următoarele etape:

- se apreciază conținutul de carbon al încărcăturii. Dacă acest conținut este mai mic de 0,40% pe vatra cuptorului se adaugă cocs petrol;
- conținutul de sulf și fosfor al încărcăturii trebuie să fie sub cel prescris în oțel;
- se încarcă la început așchiile brichetate, după ce în prealabil se obturează orificiul de scurgere a oțelului cu ajutorul a cîteva rețele de turnare;

- se încarcă materialele recirculate: rețele de turnare, maselote, pierderi tehnologice;
- se încarcă baturile de forjă, baloturile de tablă și deșeurile de oțel debitate; bucățile mari și grele se încarcă sub și între electrozi, iar cele mai ușoare spre pereți.

Încărcătura trebuie să fie pregătită avansat, deșeurile de turnătorie vor fi curățate de nisip, uscate și fără ulei. În cuptoarele electrice acide nu se folosește fier vechi ruginit, deoarece în timpul topirii oxizii de fier se infiltrează în vatră, formând silicați de fier cu temperatură joasă de topire ceea ce duce la micșorarea refractarității vetrei.

Încărcarea cuptorului se va face cât mai repede pentru a limita oxidarea.

#### V. Topirea

1. Topirea se începe cu tensiune mai mare decât la cuptoarele bazice, 180 V, și până la stabilizarea arcurilor, intensitatea cuptorului se menține la jumătate din cea normală, 5000...6000 A. După stabilizarea arcurilor se mărește tensiunea și intensitatea curentului la maximum.

2. După ce circa  $\frac{3}{4}$  din șarjă s-a topit se împinge în baia lichidă bucățile netopite de pe lângă pereții cuptorului.

3. După topirea întregii încărcături se ia o probă pentru determinarea conținuturilor de C și Mn. Conținutul de carbon la sfârșitul topirii trebuie să fie cu 0,12...0,25% mai mare decât cel prescris în oțelul final.

4. Se examinează culoarea și aspectul zgurii, la suprafață și în spărtură.

#### VI. Afinarea și dezoxidarea

1. În cazul când la topire zgura este neagră, cu aspect de cărbune, atât la suprafață cât și în spărtură, baia de oțel se încălzește puternic și începe fierberea.

2. Dacă zgura este de culoare neagră, dar lucioasă, sau de culoare cafenie se adaugă minereu de fier. Cantitatea de minereu adăugată depinde de conținutul de carbon al șarjei, ea



fiind de 0,5 kg pentru fiecare zecime de procent diferență în plus față de conținutul de carbon dorit.

3. După 20 minute de la începerea fierberii se determină temperatura băii, starea de dezoxidare a metalului, a zgurei, și se ia o probă pentru determinarea conținutului de carbon.

Fierberea se prelungește pînă cînd conținutul de carbon scade cu cel puțin 0,15% C.

În timpul fierberii se adaugă var stins și nisip uscat deoarece zgura trebuie să fie bine dezoxidată cînd fierberea se apropie de sfîrșit.

4. Sarja poate fi evacuată dacă se îndeplinesc următoarele condiții:

- micșorarea conținutului de carbon în timpul fierberii cu cel puțin 0,15%;
- zgura să fie dezoxidată; scăderea conținutului de FeO din zgură poate fi urmărită pe baza modificării culorii zgurei: de la negru cafeniu pentru  $(\text{FeO}) > 25\%$ , la cafeniu închis pentru  $(\text{FeO}) = 25...22\%$ , la cafeniu deschis pentru  $(\text{FeO}) = 22...20\%$ , la cafeniu deschis gălbui pentru  $(\text{FeO}) = 20...17\%$ , la gălbui verde pentru  $(\text{FeO}) < 17\%$ ;
- temperatura oțelului să fie mai înaltă de  $1600^{\circ}\text{C}$ ;
- oțelul este bine dezoxidat, iar conținutul de siliciu să fie mai mare de 0,25% ca urmare a regenerării acestuia din  $\text{SiO}_2$  din zgură și din vatră.

Procesul de regenerare a siliciului necesită temperaturi ridicate ale băii metalice, peste  $1470^{\circ}\text{C}$ .

Reacțiile de regenerare ale siliciului conduc la deoxidarea și calmarea oțelului, deci se elimină dezoxidarea prin precipitare cu ferosiliciu.

Se interzic adaosurile de feromangan și ferosiliciu în cuptor.

#### VII. Evacuarea șarjei

1. Oala utilizată la evacuarea șarjei se preîncălzește la  $800^{\circ}\text{C}$ .

Golirea cuptorului se face prin basculare, după ce în prealabil s-a destupat orificiul de golire, s-a întrerupt curentul, iar electrozii au fost ridicați pînă în poziția extremă.

2. In oală se introduce feromangan calcinat în proporție de 7 kg/t oțel lichid, după ce în oală se află deja o cantitate de oțel lichid.

După introducerea feromanganului se introduce în oală aluminiu în proporție de 1,5 kg/t oțel lichid, prins pe o bară de oțel de  $\varnothing 14$  mm.

3. După turnarea oțelului căptușeala oalei se înlocuiește.



A N E X E

Compoziția chimică a oțelurilor carbon turnate în piese

Marca oțelului	Compoziția chimică, %				
	Carbon	Mangan	Siliciu	P max.	S max.
OT 400-1					
OT 400-2	0,10...0,20	0,40...0,80	0,25...0,50	0,040	0,040
OT 400-3					
OT 450-1					
OT 450-2	0,20...0,30	0,40...0,80	0,25...0,50	0,040	0,040
OT 450-3					
OT 500-1					
OT 500-2	0,30...0,40	0,40...0,80	0,25...0,50	0,040	0,040
OT 500-3					
OT 550-1					
OT 550-2	0,35...0,45	0,40...0,80	0,25...0,50	0,040	0,040
OT 550-3					
OT 600-1					
OT 600-2	0,40...0,50	0,40...0,80	0,25...0,50	0,040	0,040
OT 600-3					
OT 700-1					
OT 700-2	0,50...0,60	0,40...0,80	0,25...0,50	0,040	0,040

OBSERVAȚII:

1. Abaterile de la compoziția chimică nu constituie motiv de respingere, dacă sînt realizate caracteristicile mecanice.
2. Conținutul de crom, nichel și cupru trebuie să nu depășească 0,3% pentru fiecare element în parte. Abaterile de la acest conținut nu constituie motiv de respingere, dacă, în contract nu este prevăzut conținutul pentru fiecare element în parte.
3. Cu acordul beneficiarului pentru oțelul carbon din grupa 1, se admit conținuturi de sulf și fosfor de max. 0,06% pentru fiecare.



Caracteristici mecanice ale oțelurilor carbon  
turnate în piese

Grupa	Marca	Rezistența de rupere la tracțiune $R_m$ N/mm <sup>2</sup> min.	Limita de curgere $R_e$ N/mm <sup>2</sup> min.	Alungirea la rupere A % min.	Gîtuirea la rupere Z % min.	Reziliența KCU <sup>2</sup> J/cm <sup>2</sup> min.	Duritatea Brinell HB (min.) informativ
1	OT 400	390	—	20	—	—	110
	OT 450	440	—	18	—	—	124
	OT 500	490	—	15	—	—	138
	OT 550	540	—	12	—	—	153
	OT 600	590	—	10	—	—	169
	OT 700	690	—	6	—	—	179
2	OT 400	390	200	25	—	—	110
	OT 450	440	240	22	—	—	124
	OT 500	490	270	18	—	—	138
	OT 550	540	310	15	—	—	153
	OT 600	590	340	12	—	—	169
	OT 700	690	410	10	—	—	179
3	OT 400	390	200	25	35	50	110
	OT 450	440	240	22	30	40	124
	OT 500	490	270	18	25	35	138
	OT 550	540	310	15	21	30	153
	OT 600	590	340	12	18	25	169

# COMPOZIȚIA CHIMICĂ A OȚELURILOR SLAB ALIATE

Marca oțelului	Compoziția chimică %										
	C	Mn	Si	P <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	V
A. Oțeluri de largă utilizare											
T20Mn14	0.15... 0.25	1.20... 1.60	0.20... 0.45	0.04	0.04	max.0.30	max.0.30	—	max.0.30	—	—
T35 Mn 14	0.30... 0.40	1.20... 1.60	0.20... 0.45	0.04	0.04	max. 0.30	max.0.30	—	max.0.30	—	—
T40 Mn 11	0.35... 0.45	1.00... 1.30	0.20... 0.45	0.04	0.04	max 0.30	max 0.30	—	max 0.30	—	—
T30Si Mn12	0.25... 0.35	1.10... 1.40	0.50... 0.80	0.04	0.04	max 0.30	max 0.30	—	max 0.30	—	—
T40Mn Ni07	0.35... 0.45	1.00... 1.20	0.20... 0.45	0.04	0.04	max 0.30	0.60... 0.90	—	max.0.30	—	—
T34MoCr09	0.30... 0.38	0.50... 0.80	0.20... 0.45	0.04	0.04	0.60... 1.10	max 0.30	0.20... 0.30	max 0.30	—	—
T35MoCr-Ni08	0.30... 0.40	0.50... 0.80	max 0.45	0.03	0.03	0.60... 1.00	0.60... 1.00	0.15... 0.25	max 0.30	—	—
T26VSi Mn14	0.22... 0.30	1.20... 1.60	0.60... 0.90	0.04	0.04	max 0.30	max 0.30	—	max 0.30	—	0.07... 0.15
T20Ti Mn12	0.16... 0.24	1.00... 1.30	0.60... 0.80	0.03	0.03	max 0.30	max 0.30	—	max 0.30	0.04... 0.08	—
B. Oțeluri elaborate cu acordul producătorului.											
T35SiCrMn11	0.30... 0.40	1.00... 1.30	0.50... 0.80	0.04	0.04	0.60... 0.90	max 0.30	—	max 0.30	—	—
T30MoCr Ni14	0.25... 0.35	0.40... 0.90	0.20... 0.45	0.04	0.04	1.30... 1.60	1.30... 1.60	0.20... 0.30	max 0.30	—	—
T40TiCrNi17	0.35... 0.45	0.40... 0.90	0.20... 0.45	0.04	0.04	0.70... 1.00	1.50... 1.90	—	max 0.30	0.02... 1.00	—
T12V MoCu- CrNi 16	0.10... 0.18	0.30... 0.55	0.20... 0.45	0.03	0.03	1.20... 1.70	1.40... 1.80	0.20... 0.30	0.40... 0.65	—	0.06... 0.15
T40V Mn17	0.35... 0.45	1.60... 1.90	0.20... 0.45	0.04	0.04	max 0.30	max 0.30	—	—	—	0.10... 0.20



# COMPOZIȚIA CHIMICĂ A OTELURILOR AUSTENITICE MANGANOASE

Marca otelului	Compoziția chimică %							
	C	Mn	Si	P max	S max	Ni	Cr	Mo
T105 Mn120	0,9... 1,2	11,5... 13,5	0,5... 1,0	0,11	0,05	max 0,8	—	—
T130 Mn135	1,25... 1,4	12,5... 14,5	0,5... 1,0	0,11	0,05	max 0,8	—	—
T130 Mo Mn135	1,25... 1,4	12,5... 14,5	0,5... 1,0	0,11	0,05	max 0,8	—	0,9... 1,1
T110 Mn110	1,0... 1,1	min 11,0	max 1,0	0,10	0,06	—	—	—
T120 Mn110	1,0... 1,1	min 11,0	max 1,0	0,10	—	—	—	—
T100 Mn120	0,9... 1,05	11,5... 14,0	max 1,0	0,10	—	—	—	—
T120 Cr Mn130	1,05... 1,35	11,5... 14,0	max 1,0	0,07	—	—	1,5... 2,5	—
T100 Ni Mn130	0,7... 1,3	11,5... 14,0	max 1,0	0,07	—	3,0... 4,0	—	—
T100 Mo Mn130	0,7... 1,3	11,5... 14,0	max 1,0	0,07	—	—	—	0,9... 1,2
T70 Mn140	0,6... 0,8	12,5... 15,5	0,5... 1,0	0,10	0,05	—	0,6... 1,0	—

## CARACTERISTICELE MECANICE ALE OTELURILOR AUSTENITICE MANGANOASE

Limita de curgere R <sub>p0,2</sub> N/mm <sup>2</sup> (Kgf/mm <sup>2</sup> )	Rezistența la tracțiune R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup> (Kgf/mm <sup>2</sup> )	Alungirea la rupere A <sub>5</sub> pentru L <sub>0</sub> =5,65l <sub>0</sub> /50 %	Știeuirea la rupere Z %	Rezilianta KCU-300/2 la -120°C J/cm <sup>2</sup> (Kgf.m/cm <sup>2</sup> )	Rezistența la încovoiere R <sub>mi</sub> N/mm <sup>2</sup> (Kgf/mm <sup>2</sup> )	Duritatea Brinell HB
245... 390 (25... 40)	780... 980 (80... 100)	40... 55	35... 40	20... 30	245... 295 (25... 30)	180... 220

# OTELURI INOXIDABILE TURNATE IN PIESE

— 231 —

Compoziția chimică %										
Marca oțelului	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	Nb	S P max.
T15 Cr 170	0.10...0.20	max 0.60	1.50...2.00	16.0...18.0	max 1.00	—	—	—	—	0.03 0.03
T15 Cr 200	0.10...0.20	max 1.00	max 1.00	18.0...22.0	max 1.00	—	—	—	—	0.03 0.03
T15 Cr 280	0.10...0.20	max 1.00	max 1.00	27.0...29.0	max 1.00	—	—	—	—	0.03 0.03
T6 NiCr 180	max 0.06	1.0...2.0	0.50...2.0	17.0...19.0	8.0...11.0	—	—	—	—	0.03 0.03
T6 MoNiCr 180	max 0.06	1.0...2.0	0.50...2.0	17.0...19.0	8.0...11.0	2.0...3.0	—	—	—	0.03 0.03
T10 NiCr 180	max 0.10	1.0...2.0	0.50...2.0	17.0...19.0	8.0...11.0	—	—	5x% C	—	0.03 0.03
T10 MoNiCr 180	max 0.10	1.0...2.0	0.50...2.0	17.0...19.0	8.0...11.0	2.0...3.0	—	—	8x% C	0.03 0.03
T15 NiCr 180	max 0.15	1.0...2.0	0.50...2.0	17.0...19.0	8.0...11.0	—	—	—	—	0.03 0.03
T15 MoNiCr 180	max 0.15	1.0...2.0	0.50...2.0	17.0...19.0	8.0...11.0	2.0...3.0	—	—	—	0.03 0.03
T25 CuMoNiCr 180	0.2...0.3	0.5...1.5	1.0...2.5	17.0...19.0	8.0...11.0	1.0...2.5	1.5...2.5	—	—	0.03 0.03
T6 CuMoNiCr 200	max 0.6	1.0...2.0	0.5...1.5	18.0...22.0	24.0...26.0	2.0...3.0	1.5...2.5	—	—	0.03 0.03



# CAI ACTERISTICI MECANICE ȘI TEHNOLOGICE ALE OTELURILOR INOXIDABILE

Marca oțelului.		Tratamentul termic aplicat				Caracteristici mecanice după îmbunătățire.					
		Recoacere.		Îmbunătățire		Revenire		Rezistența la tracțiune $R_m$ N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )	Alungi- rea la ru- pere $A_{5.65L}$ % min	Durețea Brinell HB	Structura metalo- grafică (informativ)
				Călire	Medii de încăle- rire						
T15Cr170		750...850	1000...1050	ulei	650...750	aer	590 (60)	min 780 (80)	4	110...190	Feritică
T15Cr200		750...850	1000...1050	ulei	650...750	aer	—	min 440 (45)	18	127...183	Feritică
T15Cr280		800...900	—	—	—	—	290 (30)	min 440 (45)	20	140...190	Feritică
T6NiCr180		—	1050...1150	apă	—	—	190 (20)	min 440 (45)	25	140...190	Austenitică
T6MoNiCr180		—	1050...1150	apă	—	—	230 (24)	min 440 (45)	25	140...190	Austenitică
T40NiCr180		—	1050...1150	apă	—	—	230 (24)	490...590 (50...60)	20	140...190	Austenitică
T40MoNiCr180		—	1050...1150	apă	—	—	230 (24)	490...590 (50...60)	20	140...190	Austenitică
T15NiCr180		—	1050...1150	apă	—	—	240 (25)	min 490 (50)	20	140...190	Austenitică
T15MoNiCr180		—	1050...1150	apă	—	—	240 (25)	min 490 (50)	20	140...190	Austenitică
T25CuNiCr180		—	1050...1150	apă	—	—	—	—	—	140...230	Austenitică
T6CuMoNiCr200		—	1050...1150	apă	—	—	190 (20)	min 540 (55)	15	160...210	Austenitică

## Caracteristici fizice ale unor oțeluri înalt aliate

Marca oțelului	Caracteristici fizice (informativ)							
		Conductivitate termică la 20°C J/cm·s·°C (cal/cm·s·°C)	Căldură masică la 20°C J/g·°C (cal/g·°C)	Coeficient de dilatare termică de la 20°C la				Con- tracție ‰
				400°C	800°C	1000°C	1200°C	
				10 <sup>-6</sup> m/m·°C				
T20 Mo Cr 90 T20 Mo Cr 90 X	7,7	0,19 (0,045)	5,2 (0,12)	12,5	13,5	—	—	2
T15 Cr 130 T15 Cr 130 X	7,7	0,30 (0,070)	4,8 (0,11)	11,5	13,5	—	—	2
T20 Cr 130 T20 Cr 130 X	7,7	0,30 (0,070)	4,8 (0,11)	11,5	13,5	—	—	2
T40 Si Cr 130 T40 Si Cr 130 X	7,7	0,19 (0,045)	5,2 (0,12)	12,5	13,5	—	—	2
T40 Cr 130 T40 Cr 130 X	7,7	0,19 (0,045)	5,2 (0,12)	12,5	13,5	—	—	2
T75 Cr 280 T75 Cr 280 X	7,5	0,19 (0,045)	5,2 (0,12)	11,5	14	16	—	1,5
T70 Mo Cr 280 T70 Mo Cr 280 X	7,5	0,19 (0,045)	5,2 (0,12)	11,5	14	16	—	1,5
T12 Ti Mo Ni Cr 175 T12 Ti Mo Ni Cr 175 X	7,8	0,15 (0,035)	5,2 (0,12)	17,5	18,5	19,5	—	2,5
T15 Ni Cr 180 T15 Ni Cr 180 X	7,9	0,15 (0,035)	5,2 (0,12)	18,0	—	—	—	2,5
T15 Mo Ni Cr 180 T15 Mo Ni Cr 180 X	7,9	0,15 (0,035)	5,2 (0,12)	18,5	—	—	—	2,5
T35 Ni Cr 260 T35 Ni Cr 260 X	7,8	0,15 (0,035)	5,2 (0,12)	17,5	18,5	19	19,5	2,5
T25 Ni Cr 250 T25 Ni Cr 250 X	7,8	0,15 (0,035)	5,2 (0,12)	17	18	19	19,5	2,5
T20 Cr Ni 370 T20 Cr Ni 370 X	8,0	0,15 (0,035)	5,2 (0,12)	16	17	18,5	19	2
T35 Cr Ni 370 T35 Cr Ni 370 X	8,0	0,15 (0,035)	5,2 (0,12)	16	17	18,5	19	2



Influența elementelor de aliere asupra proprietăților oțelului																
Proprietatea Elementul de aliere	Caracteristici mecanice										Propriet. mecanice					
	Duritate	Rezistență	Limita de curgere	Alungire	Întindere	Rezistență	Elasticitate	Rez. la temp. ridicată	Viteza de foraj	Formare de carbon	Rezistență la uzură	Capacitatea de forare	Aschibilitate	Formare de fund	Capacitatea de întindere	Rezistență la coroziune
Siliciu	↑	↑	↑↑	↓	~	↑	↑↑↑	↑	↓	↓	↑↑↑	↑	↓	↓	↓	↑↑
Mn oțel perlitic	↑	↑	↑	~	~	~	↑	~	↓	~	↑↑	↑	↓	~	~	↑↑
Mn oțel austenitic	↑↑	↑	↓	↑↑	~	~	~	~	↑↑	~	~	↑↑	↑↑	↑↑	~	~
Crom	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↑	↑↑↑	↑↑	↑	↓	~	↓↑	↑↑	↑↑
Ni oțel perlitic	↑	↑	↑	~	~	~	~	↑	↑↑	~	↑↑	↓	↓	↓	~	~
Ni oțel austenitic	↑↑	↑	↓	↑↑	↑↑	↑↑	~	↑↑	↑	~	~	↑↑	↑↑	↑↑	~	~
Aluminiu	~	~	~	~	↓	↓	~	~	~	~	~	↑↑	~	↑↑	↑↑	~
Wolfram	↑	↑	↑	↓	↓	~	~	↑↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑	~
Vanadiu	↑	↑	↑	~	~	↑	↑	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	↑↑	↑	~	↓	↑	↑
Cobalt	↑	↑	↑	↓	↓	↓	~	↑↑	↑↑	~	↑↑	↑	~	↓	~	~
Molibden	↑	↑	↑	↓	↓	↑	~	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑	↓	↑↑	↑↑	~
Cupru	↑	↑	↑↑	~	~	~	~	~	~	~	~	↑↑	~	~	~	~
Sulf	~	~	~	↓	↓	↓	~	~	~	~	~	↑↑	↑↑	~	~	~
Fosfor	↑	↑	↑	↓	↓	↑↑	~	~	~	~	~	↑	↑	~	~	~

**TEMPERATURILE DE TURNARE ALE  
OȚELURILOR ÎN FORME.**

Dimensiunile pieselor.	Capacitatea oalei	Marca oțelului	Temperatura metalului în oală înainte de turnare, °C	
			Piese cu pereți subțiri și complicate	Piese turnate sensibile la erapături
Piese mari, 15... 100 t Media, cca 24 t.	30, 35	OT 450	1620... 1580	1580... 1550
	20	OT 550	1610... 1570	1570... 1540
Piese mari și medii, 15 t Media, cca 3 t	6...7	OT 450	1590... 1570	1570... 1530
	15, 20	OT 550	1580... 1560	1560... 1540
		T35 MSNC 260	1560... 1550	1550... 1540
		T130 Mn 135	1440... 1430	1430... 1420
Piese pînă la 5 t Media, 840 Kgr.	6...7	OT 450	1580... 1570	1570... 1560
	15, 20	OT 550	1570... 1560	1560... 1550
		T35 MSNC 260	1560... 1550	1550... 1540
		T130 Mn 135	1440... 1430	1430... 1420
Piese mici sub 2 t Media, 170 Kgr.	6...7	OT 450	1580... 1570	1570... 1560
		OT 550	1570... 1560	1560... 1550
		T35 MSNC 260	1560... 1550	1550... 1540
		T130 Mn 135	1450... 1440	1440... 1430

# TRATAMENTUL TERMIC AL PIESELOR TURNATE DIN OTEL CARBON

Simbolul oțelului	Tratamentul termic	Tempera- tura °C	Proportia de perlita %	Duritatea Brinell max.
OT 400	Recoacere	920	20	140
	Normalizare	930	20	140
OT 450	Recoacere	900	30	156
	Normalizare	920	30	156
OT 500	Recoacere	880	40	170
	Normalizare	900	40	170
OT 550	Recoacere	860	50	200
	Normalizare	890	50	200
	Revenire	560 - 580	50	200
OT 600	Recoacere	840	60	210
	Normalizare	860	60	210
	Revenire	560 - 580	60	210
OT 700	Recoacere	830	70	220
	Normalizare	870	70	220
	Revenire	560 - 580	70	220



## MATERIALE OXIDANTE PENTRU ACCELERAREA PROCESULUI DE OXIDARE

Nr. crt.	Denumirea adaosului	Caracteristici	Modul de utilizare
1.	Minerale de fier	53...64% Fe	Se adaugă în bucăți
		< 5% SiO <sub>2</sub>	
		< 0,28% P	
2.	Minerale de mangan.	35...59% Mn.	Se utilizează la elaborarea oțelului ca adaos de oxidare și pt. ridicarea conținutului de Mn.
		4...10% SiO <sub>2</sub>	
		0,15...0,19% P	
3	Arsură (tundor)	70,5% Fe	Se adaugă în portii succesive.
		2,5% SiO <sub>2</sub>	
		1,0% MnO	
		0,04% P	
		0,02% S	
4	Oxygen	In stare gazeasa	Se introduce sub presiune de 6...8 atm.
		99,5% O <sub>2</sub>	

## MATERIALE DEZOXIDANTE ȘI DE ALIERE.

Materiale dezoxidante	Număr STAS	Materiale de aliere	Număr STAS
Feromangan	7435-74	Feromangan	7435-65
Ferosiliciu	7436-75	Ferosiliciu	7436-66
Ferotitan	7434-76	Ferocrom	7438-74
Aluminiu	7607-62	Ferowolfram	8139-68
Aliaj de Al, Mn, Si	-	Feromolibden	7038-74
Silico mangan	7037-66	Ferotitan	7434-76
		Ferovanadiu	GOST 4760
Silico-calciu	7036-74	Ferobor	7437-78
Ferosilicozirconiu	7036-64	Nichel	GOST 849
Siliciu	GOST 2163	Cobalt	GOST 123

FEROMANGAN					
Marca	Compoziția chimică, %				
	Mn	C	Si	P	S
Fe Mn 1	80	0,5	20	0,30	0,03
Fe Mn 2	80	1,0	1,5	0,30	0,03
Fe Mn 3	80	1,0	20	0,30	0,03
Fe Mn 4	80	1,5	25	0,35	0,03
Fe Mn 5	75	2,0	20	0,35	0,03
Fe Mn 6	75	7,0	1,0	0,35	0,03
Fe Mn 7	75	7,0	1,5	0,35	0,035
Fe Mn 8	75	7,0	20	0,50	0,03
Fe Mn 9	75	7,0	4,0	0,50	0,04
Fe Mn 10	75	7,5	4,0	0,55	0,04
Fe Mn 11	65	7,0	5,0	0,60	0,045

FEROSILICIU						
Marca	Compoziția chimică, %					
	Si	Mn	Cr	P	S	Al
		maxim				
Fe Si 1	87-94	0,50	0,20	0,04	0,04	2,5
Fe Si 2	72-78	0,70	0,30	0,05	0,04	1,8
Fe Si 3	72-78	0,70	0,50	0,05	0,04	3,0
Fe Si 4	40-47	1,00	0,60	0,05	0,04	2,0
Fe Si 5	20-30	1,50	0,90	0,06	0,04	1,0
Fe Si 6	12-17	1,25	1,00	0,10	0,04	0,8

Ferosiliciul se livrează în bucăți, a căror masă trebuie să nu depășească 25 kg.







FEROCROM									
Denumirea feroaliajului	Grupa	Marca	Compoziția chimică, %						
			Cr min	C	Si	S	P	Al	N <sub>2</sub>
					maxim				
Ferocrom cu conținut foarte mic de carbon	1	FeCr 1.1	70	max. 0,0	0,8	0,007	0,02	—	0,03
		FeCr 1.2	70	max. 0,02	0,8	0,03	0,02	0,07	—
		FeCr 1.3	70	max. 0,02	1,0	0,03	0,02	0,07	—
		FeCr 1.4	60	max. 0,04	1,0	0,05	0,05	0,07	—
		FeCr 1.5	60	max. 0,04	1,8	0,05	0,05	0,07	—
		FeCr 1.6	65	max. 0,05	1,0	0,03	0,05	—	—
		FeCr 1.7	65	max. 0,05	1,5	0,03	0,05	—	—
		FeCr 1.8	65	max. 0,06	1,0	0,03	0,05	—	—
		FeCr 1.9	65	max. 0,06	1,5	0,03	0,05	—	—
		FeCr 1.10	65	0,07-0,10	1,0	0,03	0,05	—	—
		FeCr 1.11	65	0,07-0,10	1,5	0,03	0,05	—	—
		FeCr 1.12	60	0,11-0,15	1,0	0,03	0,05	—	—
		FeCr 1.13	60	0,11-0,15	1,5	0,03	0,05	—	—
		FeCr 1.14	65	max. 0,2	1,5	0,03	0,03	—	—
Ferocrom cu conținut mic de carbon	2	FeCr 2.1	60	0,16-0,25	1,0	0,03	0,05	—	—
		FeCr 2.2	60	0,16-0,25	2,0	0,03	0,05	—	—
		FeCr 2.3	60	0,26-0,50	1,0	0,03	0,05	—	—
		FeCr 2.4	60	0,26-0,50	2,0	0,03	0,05	—	—
Ferocrom cu conținut me- diu de carbon	3	FeCr 3.1	60	0,51-1,00	1,0	0,03	0,05	—	—
		FeCr 3.2	60	0,51-1,00	2,0	0,03	0,05	—	—
		FeCr 3.3	60	1,01-2,00	1,0	0,04	0,05	—	—
		FeCr 3.4	60	1,01-2,00	2,0	0,04	0,05	—	—
		FeCr 3.5	60	2,01-4,00	1,0	0,04	0,05	—	—
		FeCr 3.6	60	2,01-4,00	2,0	0,04	0,05	—	—
Ferocrom cu conținut mare de carbon	4	FeCr 4.1	65	4,01-6,50	1,0	0,04	0,06	—	—
		FeCr 4.2	65	4,01-6,50	2,0	0,04	0,06	—	—
		FeCr 4.3	60	4,01-6,50	3,0	0,04	0,06	—	—
		FeCr 4.4	60	4,01-6,50	5,0	0,04	0,06	—	—
		FeCr 4.5	65	6,51-8,00	1,0	0,04	0,06	—	—
		FeCr 4.6	65	6,51-8,00	2,0	0,04	0,06	—	—
		FeCr 4.7	60	6,51-8,00	3,0	0,04	0,06	—	—
		FeCr 4.8	60	6,51-8,00	5,0	0,04	0,06	—	—



MANGAN METALIC								
Marca	Compoziție chimică, %							Procedeu de obținere
	Mn min	Si	P	Fe	C	S	Total impurități	
Mn 99,5	99,75	—	0,005	—	0,02	0,01	0,05	Electroliză
Mn 99,70	99,70	—	0,01	—	0,10	0,10	0,30	
Mn 95,00	95,00	0,8	0,05	2,5	0,10	—	5,0	Electrotermie (silicotermie în cuptor electric)
Mn, 93,00	93,00	1,8	0,07	3,0	0,20	—	7,0	

FEROFOSFOR					
Marca	Compoziție chimică, %				
	P	Si	C	Mn	S
		max.			
FeP 14	14 ..... 17,9	3,0	1,0	6,0	0,5
FeP 18	18 ..... 21,9	1,0	0,5	6,0	0,5
FeP 22	22 ..... 28	1,0	0,5	2,0	0,5

FEROTITAN									
Denumirea feroaliajului	Grupa	Marca	Compoziție chimică, %						
			Ti min	C	Si/Ti	Al/Ti	Cu	S	P
				maxim					
FeTi cu conținut mic de carbon	1	FeTi 1,1	40	0,10	0,15	0,20	0,50	0,05	0,08
		FeTi 1,2	35	0,15	0,15	0,25	0,50	0,05	0,08
		FeTi 1,3	35	0,15	0,15	0,25	2,00	0,05	0,08
		FeTi 1,4	25	0,15	0,20	0,30	0,50	0,05	0,08
		FeTi 1,5	25	0,15	0,20	0,30	3,00	0,05	0,15
		FeTi 1,6	20	0,20	0,25	0,30	0,50	0,05	0,08
		FeTi 1,7	20	0,20	0,25	0,30	3,00	0,05	0,15
FeTi cu conținut mare de carbon	2	FeTi 2,1	20	6...8	0,30	0,10	2,00	0,08	0,06

Ferotitanul se livrează în bucăți, a căror masă nu trebuie să depășească 15 kg.

FEROCROM									
Denumirea feroaliajului	Grupa	Marca	Compoziția chimică, %						
			Cr min	C	Si	S	P	Al	H <sub>2</sub>
					maxim				
Ferocrom cu azot	5	FeCr 5.1	70	max 0,10	1,0	0,025	0,03	-	0,5-10
		FeCr 5.2	70	max 0,10	1,0	0,025	0,03	-	101-12
		FeCr 5.3	70	max 0,10	1,0	0,025	0,03	-	126-150
		FeCr 5.4	65	max 0,06	1,0	0,04	0,03	-	max 4,0
		FeCr 5.5	60	max 0,03	1,0	0,04	0,04	-	min 4,0
		FeCr 5.6	60	max 0,10	1,5	0,04	0,03	-	max 4,0

FEROVANADIU									
Marca	Compoziția chimică, %								
	V	C	Mn	Si	Cu	As	Al	P	S
	min.	maxim							
FeV1	75	0,10	0,4	0,8	0,1	0,05	2,0	0,05	0,05
FeV2	75	0,15	0,6	1,0	0,1	0,05	2,5	0,10	0,10
FeV3	60	0,20	-	1,2	-	0,05	2,5	0,10	0,10
FeV4	50	0,75	-	2,0	-	0,05	0,5	0,10	0,10
FeV5	40	0,75	-	2,5	-	0,05	0,5	0,10	0,10

FEROSILICOCROM					
Marca	Compoziția chimică, %				
	Si	Cr	C	P	S
	max.				
FeCrSi 1	45,1...50	28...36	0,03	0,02	0,01
FeCrSi 2	40,1...45	32...40	0,1	0,02	0,01
FeCrSi 3	35,1...40	35...42	0,2	0,02	0,01
FeCrSi 4	30,1...35	40...45	0,7	0,04	0,03
FeCrSi 5	23,1...30	50...55	1,0	0,04	0,03
FeCrSi 6	18,1...23	45...50	3,5	0,04	0,03
FeCrSi 7	10...18	55...60	6,0	0,04	0,03



ALUMINIU PRIMAR								
Marca	Al % min	Impurități						
		Fe	Si	Cu	Zn	Ti	Alte impurități	Total impurități
A- Aluminii de înaltă puritate								
Al 99,99	99,99	0,006	0,005	0,003	0,003	0,002	0,001	0,010
Al 99,95	99,95	0,030	0,030	0,015	0,005	0,002	0,005	0,050
Al 99,90	99,90	0,100	0,100	0,010	0,006	0,030	0,010	0,100
B- Aluminii tehnici								
Al 99,8	99,8	0,15	0,015	0,01	0,06	0,03	0,01	0,20
Al 99,7	99,7	0,25	0,20	0,01	0,06	0,03	0,01	0,30
Al 99,6	99,6	0,35	0,25	0,02	0,07	0,03	0,02	0,40
Al 99,5	99,5	0,40	0,30	0,02	0,07	0,03	0,03	0,50
Al 99,3	99,3	0,50	0,40	0,02	0,07	0,03	0,03	0,70
Al 99,0	99,0	0,60	0,50	0,02	0,08	0,03	0,03	1,00
Al E	99,5	0,35	0,15	0,01	0,03	*)	0,01	0,50

\*) Suma impurităților nu va depăși 0,02%, iar conținutul fiecărui nu va depăși 0,01%.

FEROWOLFRAM												
Marca	Compoziția chimică %											
	W min.	Mn	Si	C	P	S	Cu	As	Sn	Sb	Pb	Bi
		max.										
FeW 80	80	0,2	0,3	0,2	0,03	0,05	0,10	0,05	0,10	0,04	0,05	0,03
FeW 72	72	0,2	0,3	0,2	0,04	0,06	0,15	0,05	0,10	0,05	0,05	—
FeW 65	65	0,5	1,2	0,7	0,10	0,10	0,30	0,08	0,20	0,05	—	—

VAR INDUSTRIAL					
Caracteristici	Tip I	Tip II	Tip III	Tip IV	Tip V
Oxid de calciu (CaO), % minim	96			93	
Oxizi de calciu și magneziu (CaO + MgO) activi, % minim	93	92	90	87	78
Oxid de magneziu (MgO), % maxim	1,3			2,0	
Trioxid de aluminiu și trioxid de fier (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), % maxim	1,0			2,0	
Bioxid de siliciu (SiO <sub>2</sub> ), % maxim	1,0			2,0	
Sulfuri (exprimate co s), % maxim	0,1			0,2	
Rezidu la stingere, % maxim	—	7	9	—	

COCS DE PETROL				
Caracteristici	Condiții de admisibilitate			
	Calitatea I			Calitatea II
	Tip A	Tip B	Tip C	
Aspect	granule neuniforme de culoare neagră			
Granulație, mm	5...200	—	—	—
- trece prin situl 10 STAS 1077-67, % maxim	—	50	—	—
- trece prin situl 5 STAS 1077-67, % maxim	20	—	—	—
Umiditate, % maxim	2,0	2,0	2,0	2,0
Cenușă, % maxim	0,6	0,6	0,6	1,0
Sulf, % maxim	0,8	0,8	0,8	0,8
Materii volatile, % maxim	11,0	11,0	11,0	13,0
Substanțe solubile în benzen, % maxim	2,5	2,5	2,5	2,5
Substanțe solubile în apă, % maxim	0,2	0,6	0,6	1,0
Siliciu plus fier, % maxim	0,1	0,1	—	—
Titan plus vanadiu, % maxim	0,01	—	—	—
Putere calorifică superioară, kcal/kg	8200	8200	8200	8200

CALCAR PENTRU INDUSTRIA SIDERURGICĂ			
Caracteristici	Condiții de admisibilitate		
Oxid de calciu (CaO), %, minim	33	52	50
Oxid de magneziu (MgO), %, maxim	1,5	2,0	3,0
Pierderi la calcinare (PC), %, minim	42	41	40
Oxizi acizi (SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %, maxim	1,5	2,5	3,5
Sulf (S), %, maxim	0,1	0,2	0,3
Fosfor (P), %, maxim	0,1	0,2	0,3



**FORTE PENTRU AFINARE  
UTILIZATE LA ELABORAREA OTELURILOR (STAS 802-65)**

Marca	Siliciu %	Clasa corespunzătoare conținutului de:											
		Mangan %				Fosfor %				Sulf %			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
FAK 0	max 0.75	max 1	1.01... 1.75	1.76... 2.5	2.51... 3.5	max 0.15	max 0.2	max 0.3	max 0.5	max 0.03	max 0.05	max 0.06	max 0.07
FAK 1	0.76... 1.25	max 1	1.01... 1.75	1.76... 2.5	2.51... 3.5	max 0.15	max 0.2	max 0.3	max 0.5	max 0.03	max 0.05	max 0.06	max 0.07
FAK 2	0.20... 0.60	0.8... 1.5	—	—	—	—	—	—	1.6... 2.0	—	—	—	max 0.08
FAK 3	0.70... 1.25	0.5... 0.8	—	—	—	—	—	—	max 0.07	—	—	max 0.06	—
FAK 4	1.26... 1.75	0.6... 1.2	—	—	—	—	—	—	max 0.07	—	max 0.04	—	—



# CARACTERISTICILE UNOR CUPTOARE CU ARC

Caracteristici	DS- 0,5	DS- 1,5	DS- 3	DSP- 1,5	DSP- 3	DC- 5Mt	DSP- 6	DSP- 12	DSP- 25	DSP- 50	DSP- 100	DSP- 200
Capacitatea nominală, t	0,5	1,5	3	1,5	3	5	6	12	25	50	100	200
Diametrul electrodului de grafit, mm.	150	200	300	200	200	300	350	400	400	500	555	610
Puterea transformatorului, KVA	400	1000	1500	1000	1800	2800	2800	5000	9000	15000	25000	45000
Tensiunea în primarul tran- sformatorului, KV	6;10	6;10	6;10	6;10	6;10	6;10	6;10	6;10	6;10	35	35	35
Numărul de trepte	12	12	12	12	12	12	12	12	12	23	23	23
Limitele tensiunii secun- dare, V	213- 123	225- 130	245- 140	225- 130	245- 140	257- 114	257- 114	278- 116	318- 118	368- 126	417- 131	592- 164
Curentul maxim pe elec- trod, KA	1100	2600	42500	1000	4250	6300	6300	10400	16350	23500	34600	44000
Diametrul interior al mantalei (Dn), mm.	1700	2300	2700	2400	2760	3200	3190	3760	4450	5800	6750	8500
Diametrul băii (Db), mm.	1000	1600	2000	1400	1720	2270	2230	2740	3540	4566	5160	7100
Adâncimea băii (hb), mm.	215	275	340	360	400	330	425	555	775	890	1080	1480
Înălțimea spațiului de lucru (la prag pînă la nivelul bolții) (hsl), mm.	700	800	900	850	1000	1300	1080	1300	1450	1900	2150	3100
Consumul specific teoretic de energie (Kwh/t)	650	625	600	550	525	500	500	470	460	440	420	400
Consumul de apă de răcire m³/h	3	5	7	5	7	10	20	30	35	40	60	120
Masa totală a agregatului, t	5,2	10,5	11	14	35	45	45	80	140	235	460	1160



### BIBLIOGRAFIE

1. ALBITA, Gh., RADULESCU, C. - Bazele proceselor de turnare a metalelor și aliajelor. București, Editura tehnică, 1970.
2. BRABIE, V., BRATU, C., CHIRA, I. - Elaborarea și turnarea oțelului. București, Editura didactică și pedagogică, 1979.
3. BRABIE, V. - Formation of inclusions in steel by air reoxidation during tuming. Royal Institute of Technology Stockholm. Teză de doctorat, 1976.
4. BRABIE, V. - Studii și cercetări privind formarea incluziunilor în oțeluri, ca urmare a reoxidării la turnare. Metalurgia, nr.10, 1983.
5. BRATU, C., SOFRONI, L., BRABIE, V. - Termofizica proceselor de turnare. Institutul Politehnic București, 1984.
6. BRATU, C., SOFRONI, L., BRABIE, V. ș.a. - Aplicații și probleme de tehnologia turnării aliajelor. București, Editura didactică și pedagogică, 1983.
7. BRATU, C., ISTRATE, Gh. ș.a. - Indrumar pentru activitatea de microproducție în secția turnătorie de aliaje neferoașe și oțel. Institutul Politehnic București, 1980.
8. BRISCAN, D. - Bazele teoretice ale turnării. București, Editura didactică și pedagogică, 1966.
9. DOBROVICI, D., DRAGOMIR, I. ș.a. - Aplicații și probleme de metalurgie. București, Editura didactică și pedagogică, 1979.
10. DRAGOMIR, I., RUSU, E., SOIT, I. - Teoria proceselor siderurgice - lucrări practice. Institutul Politehnic București, 1978.
11. EFIMOV, V.A. - Turnarea și cristalizarea oțelurilor. București, Editura tehnică, 1981.
12. EMI, T., IIDA, Y. - Impact of injection metallurgy of the quality of steel products. Scaninject III, part I, Jernkontoret, Lulea, 1983.
13. GADEA, S. ș.a. - Metalografie. București, Editura didactică și pedagogică, 1974.



14. HILTY, D.C., FARRELL, J.W. - Modification of inclusions by calcium. 104 th AIME Annual Meeting, New York, February, 1975.
15. OHNO, A. - The solidification of metals. Tokio, Chijin Shokan Co.Ltd., 1974.
16. RADULESCU, C., ALBITA, Gh. - Rețele de turnare. București, Editura tehnică, 1971.
17. SOFRONI, L. - Elaborarea și turnarea aliajelor. București, Editura didactică și pedagogică, 1975.
18. SOFRONI, L., BRABIE, V., BRATU, C. - Bazele teoretice ale turnării. București, Editura didactică și pedagogică, 1980.
19. SAXENA, S.K., ENGH, T., PEDNEKAR, S. - Effect of injection of CaO - containing slag powder on deoxidation characteristics of aluminium - Killed steel. Scandinavian Journal of Metallurgy 4, 1975.
20. STEFANESCU, C., CAZACU, I. - Tehnologii de executare a pieselor prin turnare. București, Editura tehnică, 1981.
21. RAU, A., TRIPSA, I. - Metalurgia oțelului. București, Editura didactică și pedagogică, 1973.
22. TRIPSA, I., PUMNEA, C. - Retopirea și rafinarea oțelurilor. București, Editura tehnică, 1984.
23. TRIPSA, I., PUMNEA, C. - Dezoxidarea oțelului. București, Editura tehnică, 1981.
24. TRIPSA, I., VACU, S. ș.a. - Lucrări practice de metalurgia oțelului. Institutul Politehnic București, 1976.
25. VACU, S. - Elaborarea oțelurilor aliate, vol.I și II. București, Editura tehnică, 1980 și 1984.
26. YAVOISKIY, V.I. - New investigations of the deoxidation process of steel formation and modifications of nonmetallic inclusions during coaling of steel ingot. The fourth Japan - U.R.S.S. Joint Symposium on Physical Chemistry of Metallurgical Process, Tokyo, 1973.
27. x x x - Elaborarea oțelului cu conținut redus de sulf, prin desulfurarea acestuia în oală. Oficiul de informare documentară pentru industria metalurgică, 1984.
28. x x x - Aplicații la cursul de metalurgia fierului. Litografie, Institutul Regal de tehnologie, Stockholm, 1973.



29. x x - Gjutteteknik vid framställning av stalgjutgods.  
I.V.F.-Resultat, 74613, Ootombrie, 1974.
30. x x - Mekan resultat, 67002, februarie 1967.

Centrul de multiplicat cursuri

**I. P. B.**      Splaiul Independenței 313

Tiparul executat sub comanda nr.38

Tiraj exemplare      209